

文章编号:1004-9037(2014)03-0451-05

# 改进的基于 QoS 的有限反馈多用户调度算法

叶卓映

(厦门城市职业学院电子与信息工程系,厦门,361008)

**摘要:**在有限反馈多入多出系统中,传统的多用户调度算法考虑了系统的和速率,但忽视了各用户的服务质量需求,尤其是速率下限需求。该文提出了一种改进算法,综合考虑系统的和速率与各用户的速率下限需求,不满足速率下限需求的用户暂不进行通信。仿真结果表明,改进算法的系统速率会有所降低,但在信噪比较低时与传统算法的和速率差距很小,而随着信噪比增加和速率差距趋于稳定;同时,由于系统不再受到不满足速率下限需求用户的干扰,其误码性能会有较大提高。因此,该算法实现了系统和速率与通信用户性能的较好折衷。

**关键词:**多入多出;有限反馈;多用户调度;每用户酉速率控制;服务质量

中图分类号:TN911.5

文献标志码:A

## Improved Scheduling Scheme for Multiuser System with Limited Feedback Based on QoS

Ye Zhuoying

(Department of Electronics and Information Engineering, Xiamen City University, Xiamen, 361008, China)

**Abstract:** In the multiple-input multiple-output(MIMO) system with limited feedback, traditional multiuser scheduling algorithm only considers the sum rate, and the requirement for quality of service(QoS), especially the strain rate, is always neglected. An improved scheme is proposed considering the sum rate and the strain rate. Users under strain rate temporarily stop communicating. Simulation results show that the sum rate decreases and the difference between the traditional and the improved algorithms is small in lower SNR and tends to be stable with increasing SNR. Meanwhile, bit error rate performance of communicating users is improved greatly because users under the strain rate cannot disturb the system any more. Therefore, the scheme behaves well in system sum rate and performance.

**Key words:** multiple-input multiple-output (MIMO); limited feedback; multiuser scheduling; per-user unitary and rate control(PU2RC); quality of service (QoS)

## 引 言

频谱利用率最大化一直是通信领域的研究热点问题。在带宽固定的情况下,多入多出(Multiple-input multiple-output, MIMO)技术可以极大地提高系统频谱资源利用率<sup>[1-4]</sup>。研究表明,如果发射端获得信道信息后对用户进行调度,可以进一步提高容量和性能。然而,在很多情况下,MIMO系统的上下行信道不具有互易性,发射端只能通过反馈信

道获取信道状态信息(Channel state information, CSI)。同时,由于频谱资源有限,反馈信道在相干时间内只能提供有限的反馈比特数。目前,基于有限反馈的多用户调度算法主要分为两种<sup>[5-12]</sup>。其中一种方法是3GPP-LTE标准建议的每用户酉速率控制算法(Per user unitary and rate control, PU2RC)<sup>[11-12]</sup>。在PU2RC算法中,对于基站采用多天线而用户采用单天线的通信系统,每个用户从预先设计好的预编码码本中选择最优预编码向量,并将信道质量指标(Channel quality index, CQI)、

**基金项目:**福建省教育厅B类科技(JB12350)资助项目;福建省教育厅JK类科技(JK2012044)资助项目;厦门城市职业学院科研(KY12-25)资助项目。

**收稿日期:**2012-04-05;**修订日期:**2012-12-18

预编码向量索引(Precoding vector index, PVI)反馈给基站;基站根据反馈来调度具有同样正交基且 CQI 相对更高的用户。该算法中没有考虑各用户对于业务服务质量(Quality of service, QoS)的需求。现实社会中,用户对于 QoS 的需求呈现多样化与差异化,因此在选择用户进行调度时,除了考虑用户对于系统和速率的影响之外,还有必要考虑保证通信用户的 QoS。用户的 QoS 有多种表示方式,本文用速率下限来表征用户的 QoS,其实质是频谱利用率下限,单位是 bps/Hz。用传统的 PU2RC 算法选择用户,会使系统的和速率最大,但其中某些用户的速率下限要求并没有得到满足。这些用户虽然进行通信,但通信质量并没有达到需求,并且这些用户还会干扰其他通信用户,从而影响其他通信用户的误码率等性能。通过本文提出的改进算法,基站只需知道每个用户的速率下限需求而不需增加额外反馈量,就可以确保通信用户的 QoS。

## 1 系统模型

本文考虑多用户 MIMO 下行系统。基站配备  $N_t$  根发射天线,每个用户配备单个接收天线。假设系统中激活用户的数量为  $K$ 。 $h_{ij}$  ( $1 \leq i \leq N_t, 1 \leq j \leq K$ ) 为基站第  $i$  根天线到第  $j$  个用户的信道增益,服从均值为 0,每维方差为  $1/2$  的复高斯分布。第  $k$  个用户的接收信号可表示为

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{h}_k \mathbf{x} + \mathbf{n}_k \quad (1)$$

式中:第  $k$  个用户的信道向量为  $\mathbf{h}_k = [h_{1k}, \dots, h_{N_t k}]$ ,相应的加性高斯白噪声  $\mathbf{n}_k$  是服从均值为 0,每维方差为  $1/2$  的复高斯分布的向量。 $\mathbf{x} = \sum_{i=1}^K \mathbf{v}_i s_i$ ,  $s_i$  是基站对用户  $i$  的发送符号,  $\mathbf{v}_i$  是用户  $i$  的预编码向量。发送符号的功率约束为  $P$ ,即  $E(x^2) \leq P$ 。其中,  $E(\cdot)$  表示求期望;  $\cdot$  表示向量的欧几里得范数。

针对基站采用多天线而用户采用单天线的系统,假设基站与终端同时存储码本  $\mathbf{C} = \{c_1, \dots, c_N\}$ ,其中  $N$  为码本向量的个数,且  $N=2^B$ ,码字  $c_n \in \mathbf{C}^{N_t \times 1}$ 。根据码本的正交性对码本进行分组,一般可以把码本分成  $G$  组,每组  $N_t$  个码字,每一组的码字之间相互正交,则码本  $\mathbf{C}$  可以表示为  $\mathbf{C} = \{c_i^g, 1 \leq i \leq N_t, 1 \leq g \leq G\}$ ,即  $c_n = c_i^g, n = i \times g$ ,其中,  $N = N_t \times G$ 。

## 2 改进的多用户调度算法

### 2.1 用户端反馈

每个用户按以下方式计算各自的 CQI 及 PVI,并反馈给基站。对于任意用户  $k$  有

$$\text{CQI}_k = \max_{1 \leq i \leq N_t, 1 \leq g \leq G} \text{SINR}_k^{(i,g)} \quad (2)$$

$$\text{PVI}_k = \{(i, g) \mid \max_{1 \leq i \leq N_t, 1 \leq g \leq G} \text{SINR}_k^{(i,g)}\} \quad (3)$$

其中,  $\text{SINR}_k^{(i,g)}$  是第  $k$  个用户的信于噪比(Signal to interference plus noise ratio, SINR),满足

$$\text{SINR}_k^{(i,g)} = \frac{\|\mathbf{h}_k\|^2 \cos^2 \theta_k^{(i,g)}}{\|\mathbf{h}_k\|^2 \sin^2 \theta_k^{(i,g)} + N_t/P} \quad (4)$$

和  $\cos \theta_k^{(i,g)} = |\mathbf{h}_k c_i^g| / \|\mathbf{h}_k\|$  (5)

式中:  $i=1, \dots, N_t, g=1, \dots, G$

### 2.2 基站端处理

基站收到用户反馈的 CQI 及 PVI 后,将 PVI 相同的用户分为一组。即

$$I(i, g) = \{1 \leq k \leq K \mid \text{PVI}_k = (i, g)\} \quad (6)$$

随后,从每一个 PVI 对应的分组  $I(i, g)$  中找出 CQI 最大的用户及其对应的 CQI 值,即

$$J(i, g) = \arg \max_{k \in I(i, g)} \text{CQI}_k^{(i,g)} \quad (7)$$

和  $\text{CQI}_{\max}^{(i,g)} = \max_{k \in I(i, g)} \text{CQI}_k^{(i,g)}$  (8)

令  $S(g) = \{J(1, g), \dots, J(N_t, g)\}$  (9)

计算每个正交分组对应的最大 CQI 的和,即

$$\text{Sum}(g) = \sum_{j=1}^{|S(g)|} \text{CQI}_{\max}^{(i, g)} \quad (10)$$

其中,  $|S(g)|$  表示集合  $S(g)$  的势,即所包含的用户数目。从中选出对应 Sum 值最大的正交分组的编号  $\tilde{g}$ ,即

$$\tilde{g} = \arg \max_{1 \leq g \leq G} \text{Sum}(g) \quad (11)$$

令  $S(\tilde{g}) = \{J(1, \tilde{g}), \dots, J(N_t, \tilde{g})\}$ ,并且判断用户  $J(i, \tilde{g})$  对应的  $\text{CQI}_{\max}^{(i, \tilde{g})}$  是否达到该用户的速率要求  $R_k$  即

$$\log_2(1 + \text{CQI}_{\max}^{(i, \tilde{g})}) \geq R_k \quad (12)$$

令  $I_2 = \{i \mid \log_2(1 + \text{CQI}_{\max}^{(i, \tilde{g})}) \geq R_k, i=1, \dots, N_t\}$ ,选择  $S_2(\tilde{g}) = \{J(i, \tilde{g}) \mid i \in I_2\}$  作为进行通信的用户组。对应用户组  $S_2(\tilde{g})$ ,将  $\{c_i^g, i \in I_2\}$  作为预编码矩阵,对发送的数据进行预编码。

## 3 仿真分析

仿真中,基站端发射天线数  $N_t=4$ ,每用户接收天线数为 1,用户数  $K=20$ ,码本大小  $N=16$ ,码本采用文献[13]中表 6.3.4.2.3-2 所示码本,系统

采用 3GPP EVA 信道<sup>[13]</sup>。假设每个用户 QoS 要求的速率下限为 2 bps/Hz。仿真中只统计达到 QoS 要求的多用户和速率,系统和速率表示为

$$\gamma(S) = \sum_{k=1}^{|S|} \log_2(1 + \text{SINR}_k), k \in S \quad (13)$$

其中, S 为进行通信的用户集合。

图 1 通过仿真比较了传统 PU2RC 算法与改进算法下系统和速率随 SNR 变化的曲线,其中  $\text{SNR} = 10 \log(P/K\sigma^2)$  是指整个系统的对数形式信噪比。图 1 表明,相对于传统 PU2RC 算法,改进算法的和速率有所降低,这是由于改进算法对每个用户的速率下限为 2 b/Hz,不满足速率下限要求的用户暂不进行通信。在 SNR 较低(本仿真中  $\text{SNR} < 6$  dB)时,系统和速率差别很小。随着 SNR 增加,系统和速率差距逐步加大并在 SNR 到达一定值(本仿真中  $\text{SNR} > 14$  dB)时趋于稳定。

图 2 通过仿真比较了传统 PU2RC 算法与改进算法下配对成功的最优用户与次优用户的误码率曲线。最优用户、次优用户分别指的是配对成功通信用户中 CQI 值最大与第二大的用户。该仿真用于比较改进算法与传统算法对最优用户与次优用户误码率性能的影响。图 2 表明,基站在进行用户配对时,只考虑配对算法选出的用户可能会无法通信,必须考虑干扰对每个用户的 QoS 造成的影响。考虑用户速率下限要求,即对用户速率设置最低门限,虽然滤掉一些用户会使系统总和速率下

降低了对其他通信用户的干扰,提高了通信用户的误码性能。在 SNR 较低(本仿真中  $\text{SNR} < 4$  dB)时,改进算法对最优用户和次优用户的误码性能影响不大,但随着 SNR 增加,改进算法对于最优用户和次优用户的误码性能的提升逐步加大并在 SNR 到达一定值(本仿真中  $\text{SNR} > 16$  dB)时趋于稳定。这说明高信噪比时,噪声与干扰相比可忽略不计,干扰的大小决定了系统性能即误码率下限。综合图(1,2),改进算法在系统和速率与通信用户误码性能之间取得了较好折衷。

图(3,4)仿真了用户数  $K=8$  的情况,可以得

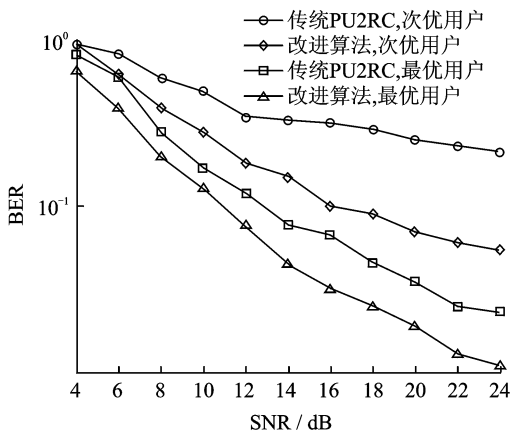


图 2 改进算法与传统 PU2RC 算法下最优用户及次优用户误码率比较(用户数  $K=20$ )

Fig. 2 Bit error ratio comparison of optimal and sub-optimal users between the improved algorithm and the traditional PU2RC algorithm (user number  $K=20$ )

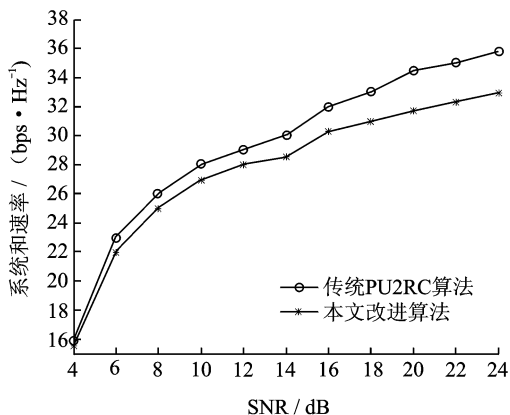


图 1 改进算法与传统 PU2RC 算法的和速率比较(用户数  $K=20$ )

Fig. 1 Sum rate comparison between the improved algorithm and the traditional PU2RC algorithm (user number  $K=20$ )

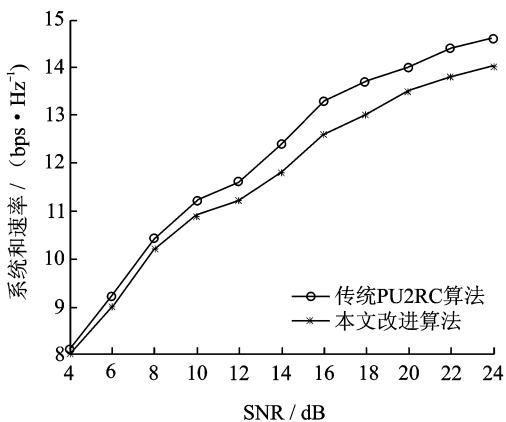


图 3 改进算法与传统 PU2RC 算法的和速率比较(用户数  $K=8$ )

Fig. 3 Sum rate comparison between the improved algorithm and the traditional PU2RC algorithm (user number  $K=8$ )

降,但如果对这些用户进行调度,很有可能保证了其 QoS。同时,过滤这些不符合要求的用户,也

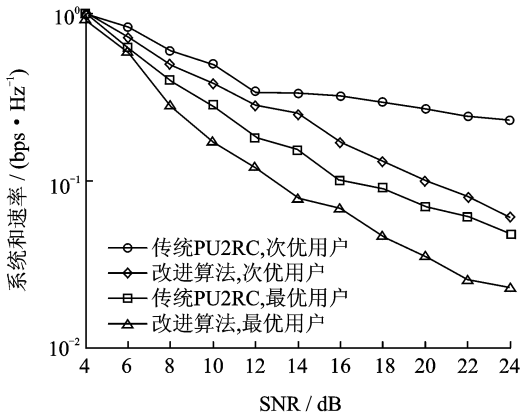


图 4 改进算法与传统 PU2RC 算法下最优用户及次优用户误码率比较(用户数  $K=8$ )

Fig. 4 Bit error ratio comparison of optimal and sub-optimal users between the improved algorithm and the traditional PU2RC algorithm (user number  $K=8$ )

到与上面类似的结论。

## 4 结束语

本文针对传统多用户调度算法只考虑系统和速率而忽视用户服务质量需求这一缺陷,提出了改进算法,综合考虑系统的和速率与用户 QoS 需求,不满足速率下限需求的用户暂时不进行通信。仿真结果表明,由于过滤了部分用户,该算法的系统速率会有所降低,与传统算法的和速率差距在信噪比较低时很小,随着信噪比增加将趋于稳定;同时,由于新算法降低了通信用户所受到的干扰,系统中通信用户的误码性能会有较大提高。这表明,新算法实现了系统和速率与通信用户误码率性能的较好折衷。

### 参考文献:

[1] Gao Cunhao, Shi Yi, Hou Y T, et al. On the throughput of MIMO-empowered multihop cognitive radio networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011,10(11): 1505-1519.

[2] Mietzner J, Schober R, Lampe L. Multiple-antenna techniques for wireless communications a comprehensive literature survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2009,11(2): 87-105.

[3] Chiani M, Win M Z, Hyundong S. MIMO networks; the effects of interference[J]. IEEE Transac-

tions on Information Theory, 2010 ,56(1): 336-349.

- [4] Lingkun K, Soon X N, Maunder R G, et al. Maximum-throughput irregular distributed space-time code for near-capacity cooperative communications[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010,59(3): 1511-1517.
- [5] 余辉,黄永明,杨绿溪. 多用户 MIMO 系统中基于快速匹配调度的有限反馈 SDMA[J]. 通信学报,2011, 32(2):11-17.
- Yu Hui, Huang Yongming, Yang Lvxi. Limited feedback SDMA scheme based on quick-match user scheduling for multiuser MIMO systems[J]. Journal on Communications,2011,32(2):11-17.
- [6] 房亮,杨茂繁,龚萍,等. 区别归一化匹配信道矩阵的有限反馈方案[J]. 北京邮电大学学报,2011,34(1): 107-110.
- Fang Liang, Yang Maofan, Gong Ping, et al. Limited feedback scheme for differential normalized matched channel matrix[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011, 34 (1):107-110.
- [7] 肖尚辉,张忠培,史治平. 多基站协作系统中有限反馈策略及其码本设计[J]. 电子与信息学报,2010, 32 (12):2954-2958.
- Xiao Shanghui, Zhang Zhongpei, Shi Zhiping. Limited feedback strategies and codebook design in coordinated multiple base-stations transmission systems [J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2010,32(12):2954-2958.
- [8] 夏欣,方舒,武刚,等. MU-MIMO 系统的用户调度和预编码联合优化[J]. 计算机工程与应用,2011, 47 (21): 95-97.
- Xia Xin, Fang Shu, Wu Gang, et al. Joint user scheduling and precoding in MU-MIMO system[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47 (21): 95-97.
- [9] 解芳,袁超伟,程铁铮,等. MIMO 广播系统中基于有限反馈的多用户选择新算法[J]. 电子与信息学报, 2010,32(11):2785-2789.
- Xie Fang, Yuan Chaowei, Cheng Tiezheng, et al. A new multi-user selection algorithm in MIMO broadcast system with limited feedback[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2010, 32 (11):2785-2789.

- [10] 陈睿,李建东,刘伟,等. 基于有限反馈的 MIMO 系统鲁棒性均匀信道分解[J]. 电子学报, 2010, 38(10): 2400-2404.
- Chen Rui, Li Jiandong, Liu Wei, et al. Robust uniform channel decomposition for MIMO communications based on limited feedback[J]. Chinese Journal of Electronics, 2010, 38(10): 2400-2404.
- [11] Fang liang, Yang Maofan, Gong Ping, et al. A joint TX-RX user scheduling scheme for multiuser MIMO systems[C]// The 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile

Computing. Providence, Rhode Island: IEEE Press, 2009.

- [12] 3rd Generation Partnership Project. Physical Channels and Modulation[EB/OL]. [http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/36\\_series/36\\_211/36211-850.zip](http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/36_series/36_211/36211-850.zip). 2008-12.

**作者简介:**叶卓映(1974-),男,副教授,高级工程师,博士,研究方向:通信信息处理、通信工程, E-mail: zhuoying@xmcu.cn。

