

# 减少上行 CQI 反馈的 OFDMA 系统资源分配

蒋韡琳, 张中兆, 沙学军, 孙丽楠

(哈尔滨工业大学 电子与信息工程学院, 150080 哈尔滨)

**摘要:** 针对目前 OFDMA 系统上行信道信息的反馈量大和公平性欠佳的问题, 提出了减少上行反馈的资源分配算法. 该算法在高信噪比下, 小区中心的用户不需要反馈 CQI, 而在低信噪比的小区边缘, 当用户量小时, 采用 1 B 反馈, 当用户量大时, 采用基于门限的 Best-M 反馈方案. 同时, 根据 Best-M 反馈方案, 提出了对第 1 个用户优先选择方案. 本文算法在保证资源分配必要的反馈信息的前提下, 对复杂度和性能之间进行了折中, 同时满足了用户之间资源分配的公平性.

**关键词:** OFDMA; 信道状态信息; 反馈; 注水

**中图分类号:** TN929.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0367-6234(2012)05-0036-04

## Resource allocation with reducing uplink CQI feedback in OFDMA

JIANG Wei-lin, ZHANG Zhong-zhao, SHA Xue-jun, SUN Li-nan

(School of Electronics and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, 150080 Harbin, China)

**Abstract:** According to the features that uplink CQI feedback is high and not fair enough in OFDMA system, the reducing feedback resource allocation algorithm is proposed. Users in the cell center with higher SNR do not need feedback CQI, and users in the cell edge with lower SNR adopt 1 B feedback when the load is low while the Best-M is adopted and the load is heavy. Meanwhile, according to the Best-M project, the first user preference is proposed. On the premise of ensuring the necessary feedback information of resource allocation, the proposed algorithm trades off between complexity and performance, and meets the users' fairness.

**Key words:** OFDMA; channel quality information; feedback; waterfilling

资源调度是正交频分多址接入 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) 系统的 1 个重要特征, 即基站的调度器根据上下行信道的质量信息, 动态地为用户选择适合的资源块进行传输, 并通过下行控制信令指示给用户. 如果在发送端可获得一些信道状态信息, 对用户进行子载波和传输功率分配, 可以有效的提高系统容量. 然而, 当子载波数或用户数增多时, CQI (Channel Quality Information) 量将随着用户数和子载波数线性增长, 将导致反馈信息变得非常大,

这将带来额外控制信令, 需要使用上行资源来传输 CQI 信息. 因此研究只用低速率上行质量信息 CQI 反馈系统的性能是很必要的.

为了减少反馈, 文献[1]引进子信道化的方法. 不是单独考虑每个子载波的资源分配, 而是相邻的子载波或者分布式的子载波构成 1 个子信道. 文献[2]研究在 Alamouti-type 无线通信系统使用 1 B 信道状态反馈算法; 对于多载波系统的最小反馈速率渐近性下限在文献[3]中给出; 文献[4]中提出利用基于注水的依赖信道门限的自适应子载波选择方案, 以上这些算法都可以有效减少反馈信息, 但是, 当用户量和子载波数增加时, 反馈 CQI 量依然很大. 文献[5]提出一种基于 MAX-SNR (SNR, Signal to Noise Ratio) 资源分配方案, 利用更少的反馈比特获得更高的容量, 即对于每个用户利用一定的反馈比特最大化和速率,

收稿日期: 2011-03-08

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2007CB310601); 国家科技重大专项资助项目(2009ZX03004-001).

作者简介: 蒋韡琳(1973—), 女, 博士研究生;

张中兆(1951—), 男, 教授, 博士生导师;

沙学军(1966—), 男, 教授, 博士生导师.

通信作者: 蒋韡琳, weilin.jiang@alcatel-sbell.com.cn.

但是在低信噪比下容量损失较大. 文献[6]研究了一定相干时间下,优化门限来最大化和容量. 为了减少由于更新信道信息带来的带宽开销, Myeon-gyun Cho 等<sup>[7]</sup>提出了差分的反馈减少(DFRS, Differential Feedback Reduction Scheme)算法,这种反馈减少方案,需要信道增益的排列信息,尽管反馈很少,每个子载波只需要1 B,但是它也可能存在真实信道增益和在基站重构信道增益之间的严重变形.

在保持资源调度的灵活性和较准确的CQI的同时,应尽可能降低信令开销. 由于OFDMA系统中子载波数目很多,当用户数量增多时,上行反馈数量是非常大的,减少上行CQI,可以将剩余的传输资源分配给数据传输,提高系统容量. 因此,设计一种减少OFDMA系统反馈的算法十分必要. 此外,减少反馈后的服务质量和公平性等问题,也是应该考虑的. 基于以上思路,本文提出了一种基于服务质量和公平性的减少上行CQI反馈的算法. 在减少CQI反馈的同时,保证了用户的服务质量和公平性.

## 1 系统模型

以OFDMA系统下行为研究对象,用户数为 $K$ ,子载波数为 $M$ ,用户均匀分布于小区中,用户测量所有子载波的信道质量. 假设每个子载波的衰落都是独立同分布. 用户报告所有或部分的子载波的信道质量给基站. 假设信道估计是完美的,反馈信道是无误差. 基站基于CQI分配子信道,并且在下一个调度时刻通知用户. 由用户反馈给基站的CQI,定义为 $f_{\text{CQI}}$ .

要实现的系统目标是最大化下行信道和速率,约束条件为CQI反馈开销和在基站的总功率. 首先将小区中的用户分为小区内的用户和小区边缘用户,小区内用户采用等功率分配,小区边缘用户采用注水算法. 当CQI报告方案为 $F$ 时,子信道 $i$ 获得的速率为 $R_{F,i}$ ,则和速率最大化的优化问题可以表示为

$$\max R = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^M (R_{i \in \text{center}, j}^F + R_{i \in \text{edge}, j}^F).$$

$$\text{s. t. } f_{\text{CQI}} = \bar{f}, \sum_{i=1}^K p_i \leq P.$$

式中 $\bar{f}$ 为反馈量的最大值, $P$ 为总的发射功率. 当 $f_{\text{CQI}}$ 降低时,对于给定的子信道,只有部分用户报告子载波的CQI,反之,则增加,因此减少CQI反馈是以减少多用户分集为代价的.

## 2 动态减少CQI反馈算法

理论上说,多用户分集可以产生更高的吞吐量,这需要基站知道每个用户完美的信道状态信息. 但是为了节省上行带宽以及降低复杂度,减少CQI反馈开销是必要的. 本节提出一种在反馈及最大化和容量之间折中的动态减少CQI反馈算法. 在减少反馈的情况下,最大化系统的和容量. OFDMA系统的瞬时容量可以表示为

$$C = \sum_{i=1}^M \log_2 \left( 1 + \frac{p_i |h_i|^2}{N_0} \right).$$

其中: $p_i = |w_i s_i|^2$ ;  $P = \sum_{i=1}^M |w_i s_i|^2$ ,  $M$ 为子载波数, $w_i$ 为在第 $i$ 子载波上分配的功率的权重, $s_i$ 为传输符号; $h_i$ 为第 $i$ 个子载波的信道响应. 因此

$$C = \sum_{i=1}^M \log_2 (1 + \gamma |w_i h_i|^2),$$

$$\gamma = \frac{E[|s_i|^2]}{N_0}.$$

当发送端为完美的信道信息时,最优的功率分配为注水算法<sup>[8]</sup>. 在高信噪比下,等功率分配是最优的<sup>[9]</sup>. 在高SNR下,反馈不是必须的<sup>[10]</sup>,并且主要用于传输控制信息的信道,其容量是很有限的,因此有必要减少CQI反馈. 在混合功率分配(Hybrid Power Distribution, HPD)资源分配算法中,将小区分为中心和边缘部分,在小区中心采用等功率分配. 因此,UE发送的CQI通常是不必要的. 这样,UE不发送CQI将极大的降低下行链路资源分配的复杂度,使信令开销下降. 同时,详细的CQI可以提高频率选择性产生的增益,但是随着反馈信道状态信息的UE数目增多,上行链路CQI开销将增加. 因此,在小区边缘,当用户量少的时候采用1 B反馈;当用户量大的时候,采用Best-M方案,减少反馈信息,然后采用注水功率分配. 这样,不但降低了整个系统的运算复杂度,同时减少了上行反馈信息.

因此,系统的和容量可以表示为

$$R = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \rho_{k,m} \log_2 \left( 1 + \frac{p_{k,m} f_{\text{CQI}} |h_{k,m}|^2}{N_0} \right), \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^K \rho_{k,m} = 1, \quad \forall m \in M, \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \rho_{k,m} = M, \quad (3)$$

$$f_{\text{CQI}} = \begin{cases} 1, & |h_{k,m}|^2 \geq h_{\text{threshold}}; \\ 0, & |h_{k,m}|^2 < h_{\text{threshold}}. \end{cases} \quad (4)$$

小区中心的用户采用  $f_{\text{CQI}} = 1$ , 功率采用等功率分配. 当用户量少的时候, 边缘用户采用  $f_{\text{CQI}} = 1$ , 当用户量很高的时候,  $f_{\text{CQI}}$  采用式(4)来减少 CQI 的反馈,  $h_{\text{threshold}}$  为反馈门限. 其中  $h_{\text{threshold}}$  值的大小, 根据用户量由网络侧确定.

### 3 基于 Best-M 的用户选择方法

第2节算法解决了现有 OFDMA 系统中当用户数和子载波数较多时上行反馈数量增加的问题, 本节根据 Best-M 算法, 提出1种如何选取第1个用户的资源分配方案.

在传统的子载波分配方案中, 对于第1个用户的选取, 通过随机的方法, 即把信道增益最大的子载波分配给某1个用户. 但是这种方案会出现这样的问题, 第1个用户首先选择了信道增益最大的子载波, 这个子载波如果留给第2个用户, 可能使得两个用户的和容量最大, 然而, 第1个用户优先选择之后, 就无法保证和容量最大化. 因此本节提出一种基于 Best-M 的第1个子载波分配方案. 统计超过某一门限的子载波个数来对用户子载波进行分配. 因此, 本文在 Best-M 的基础上, 提出了基于公平性用户选择子载波的方法.

基于门限的子载波分配方案描述如下:

$C = \{1, 2, \dots, M\}$ ,  $C < M$ ,  $\forall k = 1, 2, \dots, k, M$  为子载波序号数,  $C$  为子载波集合.

1) 如果  $C \neq \emptyset$ , 对于每一用户  $k, k \in K$ , 子载波对每1个用户根据信道增益大小进行排序:  $\Pi = (\pi(1), \pi(2), \dots, \pi(k))$ , 大于某个门限的子载波组成1个集合, 并且向基站上报个数.

基站将根据上报超过门限的子载波个数的多少进行从小到大的排序:  $(k_1, k_2, \dots)$ .

2) 第1个用户优先选择子载波, 从超过门限的子载波中选择1个.

更新  $C = C - m^*$ ,  $\Omega_k = \Omega_k + m^*$ ;

第2个用户选择子载波;

若  $C = \emptyset$ , 子载波第1次分配结束.

分配子载波不是任意选择其中1个子载波信道增益最大的1个, 而是所有的用户都要根据超过门限的子载波总数大小进行排序. 包含子载波数越小的用户, 就优先进行分配. 这样既保证了信道质量差的用户的通信要求, 又使整体的容量接近最优.

### 4 仿真结果

仿真环境为 OFDMA 系统的多小区下行情况, 小区数为19, 小区半径为1 km. 阴影衰落标

准方差为8 dB. 下行噪声功率为  $-119 \text{ dB} \cdot \text{m}$ , 基站的发射功率为  $46 \text{ dB} \cdot \text{m}$ , CQI 误差忽略不计.

首先, 对不同反馈方案下吞吐量进行比较. 仿真时考虑系统子信道  $N$  为60, 用户数  $K$  为6, 信道采用瑞利衰落信道, 并且所有子信道衰落都是独立同分布的.

图1和图2给出了当  $M = 4$  的情况下, Best-M 方案与全反馈方案和容量的比较. 可以看出, 全反馈方案由于最大化分集增益, 容量达到最大.

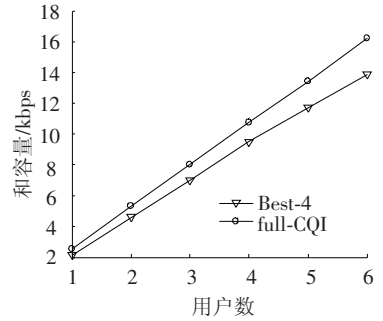


图1 不同反馈方案下的和容量比较

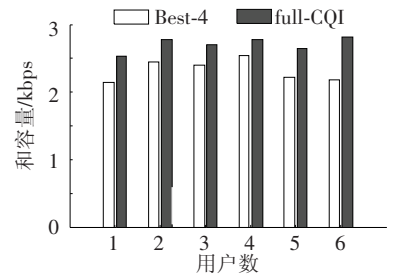


图2 不同反馈方案下的平均容量比较

图3是 Best-M 比特反馈与所提的动态减少反馈算法的和容量的比较, 其中  $M = 10$ . 同时, 对最优方案也进行了仿真. 为了减少仿真时间, 每个用户分配的子载波为4个, 每个小区最多子载波数为256, 仿真次数为  $1 \times 10^5$ .  $R_{\text{edge}}$  表示小区边缘半径. 在小区中心采用等功率分配, 小区边缘采用注水功率分配. 从图3中可以看出本文提出的方案优于 Best-M 反馈方案, 同时相比于全反馈情况, 在用户量少的情况下, 采用1B反馈方案, 反馈量小. 可以看出当用户数增加的时候, 吞吐量有所下降, 这是因为采用的 Best-M 相比1B反馈减少了多用户分集性能.

图4是本文所提算法在  $R_{\text{edge}} = 0.6$ 、每个小区60个用户时的仿真. 当用户数小于30时, 采用1B进行反馈, 而用户数超过30时采用 Best-M 反馈方案,  $M$  取4. 由图4可以看出, 提出的动态 CQI 算法接近于 CQI 全反馈算法. 当用户数为50时, 用户之间选择最优会发生碰撞的可能性增大. 因此, 系统和容量与 CQI 全反馈算法有了一定的差距, 当子载波数很大时, 会接近于最优.

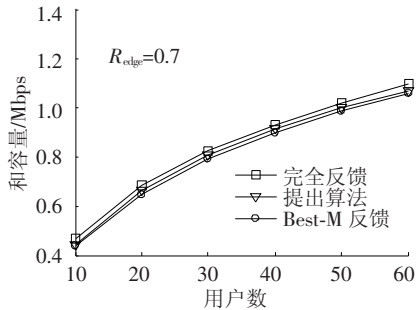


图3 不同反馈方案下的容量比较

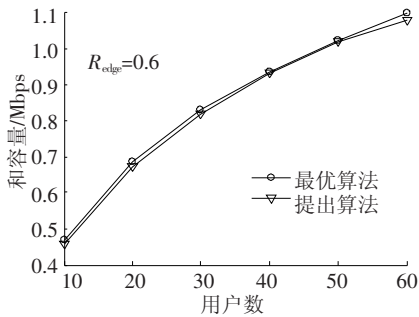


图4 本文提出算法的容量

综上所述,对于本文所提出的减少上行反馈算法,是在保证资源分配必要的反馈信息的前提下,对复杂度和性能之间进行折中,同时考虑了用户选择子载波的公平性.采用动态减少上行反馈方法,在小区中心和边缘采用不同的上行反馈方案,可以有效的减少上行反馈信息.从仿真结果可以看出,提出的动态减少CQI反馈算法在和容量上仅次于全反馈方案的最优算法,能够为用户提供良好的服务质量.

## 5 结论

根据用户量的大小以及在小区中的位置,提出了动态减少CQI反馈算法.由于中心小区信道质量好,不需要上行反馈信道质量,只需要静态的子载波分配,而在小区边缘,当用户量少的时候,采用1B反馈方案,当用户量大的时候采用Best-M方案.针对子载波选择的公平性需求问题,利用Best-M算法,提出了第1个用户优先选择方案.最后通过仿真进一步验证了动态减少CQI反馈算法的性能.仿真结果表明,提出的算法能够在开销和系统性能上有很好的折中,同时保证了用户之间的公平性.

## 参考文献:

- [1] BRAH F, VANDENDORPE L, LOUVEAUX J. Constrained Resource Allocation in OFDMA Downlink Systems with Partial CSIT[C]//IEEE International Conference on Communications, Piscataway: IEEE Press, 2008: 4144 - 4148.
- [2] XUE Y S, GERSHMAN A B. Alamouti-type wireless communication systems with one-bit feedback [C]//Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop Proceedings. Piscataway: IEEE Press, 2004: 143 - 147.
- [3] SUN Y, HONIG M L. Minimum feedback rates for multicarrier transmission with correlated frequency - selective fading [C]//Global Telecommunications Conference. Piscataway: IEEE Press, 2003, 3: 1628 - 1632.
- [4] LEKE A, CIOFFI J M. Impact of imperfect channel knowledge on the performance of multicarrier systems [C]//Global Telecommunications Conference. Piscataway: IEEE Press, 1998, 2: 951 - 955.
- [5] XU W J, NIU K, HE Z Q. A probabilistic channel quantization scheme based on max-SNR resource allocation in multiuser OFDM systems[J]. Communications Letters, 2008, 12(6): 435 - 437.
- [6] CHEN J Y, BERRY R A, HONIG M L. Performance of limited feedback schemes for downlink OFDMA with finite coherence time[C]//IEEE International Symposium on Information Theory. Piscataway: IEEE Press, 2007: 2751 - 2755.
- [7] CHO M G, SEO W, HONG D. A joint feedback reduction scheme using delta modulation for dynamic channel allocation in OFDMA systems[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(1): 46 - 49.
- [8] JANG J H, LEE K B. Transmit power adaptation for multiuser OFDM systems[J]. Selected Areas in Communications, 2003, 21(2): 171 - 178.
- [9] BINGHAM J A C. Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come[J]. IEEE Communications Magazine, 1990, 28(5): 5 - 14.
- [10] LOVE D J, HEATH R W. OFDM power loading using limited feedback[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2005, 54(5): 1773 - 1780.

(编辑 张宏)