

一种基于微蜂窝小区用户比例公平的改进资源分配算法

王路¹, 李莉^{1*}, 罗汉文^{1,2}, 张正一¹

(1. 上海师范大学信息与机电工程学院, 上海 200234;

2. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要: 在微蜂窝小区用户速率比例公平约束条件下, 以最大化系统和速率为目标, 提出了一种改进资源分配算法, 并用拉格朗日法求解优化功率. 结果表明: 相比于传统的最低比例速率的资源分配算法, 本算法在频率和总功率固定的条件下, 能减少计算复杂度, 且系统速率提高了约2%.

关键词: 微蜂窝; 资源分配; 比例公平; 系统速率

中图分类号: TN 929.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5137(2017)01-0023-05

An improvement algorithm of joint resource allocation based on microcells network proportional fairness

Wang Lu¹, Li Li^{1*}, Luo Hanwen^{1,2}, Zhang Zhengyi¹

(1. College of Information, Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;

2. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: To optimize maximizing system rate, we propose an improved resource allocation algorithm based on the constraint conditions of rate proportional fairness, and solve the optimal power by using Lagrange method. The results show that, compared to the traditional resource allocation algorithm of minimum proportional rate, our algorithm can reduce computational complexity and improves the system rate effectively.

Key words: microcells; resource allocation; proportional fairness; system rate

0 引言

随着人们对通信业务需求的不断提高和互联网技术的不断发展, 无线通信技术将同时满足实时业务(如语音业务和视频业务等)和非实时业务(如文件传输和网页浏览等), 以更好地实现便利和丰富的多媒体业务服务. 与此同时, 频谱资源的有限性已经逐渐成为制约无线通信发展的瓶颈, 信道干扰也日

收稿日期: 2016-11-29

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(61503251); 上海市自然科学基金(16ZR1424500)

作者简介: 王路(1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事自适应信号处理与无线通信方面的研究. E-mail: 1554960116@qq.com

导师简介: 罗汉文(1949-), 男, 教授, 主要从事无线通信方面的研究. E-mail: hwluo@sjtu.edu.cn

* 通信联系人. E-mail: lilyxuan@shnu.edu.cn

趋严重. 因此, 开发出频谱效率更高、抗干扰能力更强的新型传输技术, 以满足日益增长的用户需求, 便成为当今无线通信技术研究的热点.

无线信道的时变特性和频率选择性衰落, 使得动态资源分配算法成为近年来研究的热点问题. 其中, 子载波、比特和功率动态资源分配技术是正交频分多址 (OFDMA) 的关键技术之一^[1]. 各个用户根据不同的服务质量 (QoS) 要求, 如速率、误比特率 (BER) 和公平性等要求, 分配得到合适的子载波、比特和功率, 能够使系统的资源利用率提高. 因此, 本文作者重点研究频率分配和功率分配算法.

在多用户正交频分复用 (OFDM) 系统资源分配算法当中, Sadr 等^[2] 提出了解决不同用户速率要求条件下, 系统的速率优化问题的两种算法, 余量自适应 (MA) 算法和速率自适应 (RA) 算法. Mohanram 等^[3] 介绍了一种子载波和功率联合资源分配方法, 在保证用户的误比特率要求和总功率固定的前提下, 优化系统速率, 但系统复杂度较高. Lo 等^[4] 在^[2] 的基础上, 利用 RA 算法, 在保证用户的 BER 要求和系统总发射功率固定的前提下, 最大化系统总速率, 使拥有最低比例速率的用户获得优先选择权, 循环直至子载波全部分配完毕, 使系统拥有粗略的比例公平. 叶培青等^[5] 根据认知用户的带宽效益以及空闲信道的状态, 分别为认知用户和信道划分优先权, 优化了带宽效益和频谱利用率, 但未考虑功率方面的分配. Wong 等^[6] 介绍了 OFDM 系统中子载波和功率分配的优化问题, 基于比例公平约束, 得出用户之间子载波和功率比例关系, 降低了计算复杂度, 但系统速率有 5% 左右的损失. Ren 等^[7] 在^[6] 的基础上, 提出了基于子载波分组的多用户资源分配策略, 子载波分组的约束条件是同一组的子载波拥有同样的信噪比, 又提出了基于二分法的功率分配方案, 系统复杂度降低, 但系统和速率较最优联合资源分配有所下降.

本文作者提出的改进算法基于文献^[4] 的子载波分配算法, 加入了子载波个数的求解和设置用户选择子载波时的优先权, 提高系统和速率, 降低系统复杂度, 保证系统的公平性.

1 正交频分多址系统模型

图 1 为带有自适应比特、子载波和功率分配的 OFDMA 系统的原理框图. 在基站端, 假设基站可以获知完整的瞬时信道状态信息, 进而通过反馈信道送来的各个用户的信道状态信息及 QoS 要求 (如速率要求、BER 要求和公平性要求等) 被送往资源分配算法模块, 该模块根据反馈回来的各用户的信道状态信息以及 QoS 要求将系统的资源 (频谱和功率) 合理地分配给不同用户, 使系统的性能达到最优化. OFDM 收发机从不同用户的数据流中选择相应的比特数装载到各个子载波上形成一个 OFDM 符号, 通过信道进行传送, 同时子载波和比特分配信息通过独立的信道发送给各个用户. 在移动用户终端, 用户根据自己从独立信道获得的子载波和比特分配信息, 从数据流中选择出自己要接收的数据, 然后通过反馈信道将估算的基站与本用户之间的信道状态信息发送给基站, 如此循环对系统资源进行分配.

假设系统是一个有 K 个用户和 N 个子载波的多用户 OFDM 系统. $U = \{1, 2, \dots, K\}$ 和 $A = \{1, 2, \dots, N\}$ 分别表示用户集合和子载波集合. 第 k 个用户的吞吐量可表示为:

$$R_k = \frac{B}{N} \sum_{n=1}^N c_{k,n} \log_2(1 + Y_{k,n}), \quad (1)$$

式中 B 为系统总带宽, $c_{k,n}$ 为第 n 个子载波分配给第 k 个用户的分配因子.

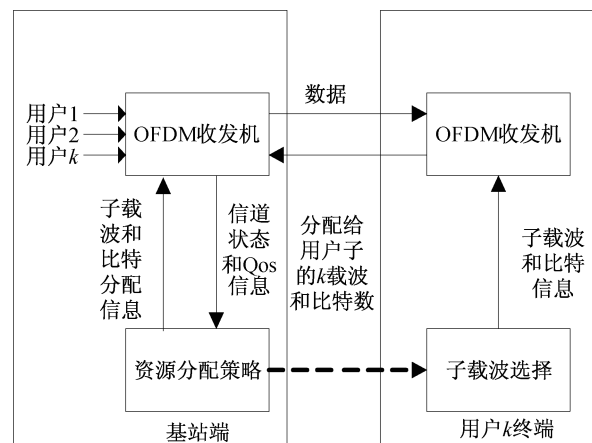


图 1 带有自适应比特、子载波和功率分配的 OFDMA 系统的原理框图

$Y_{k,n}$ 为第 k 个用户占用第 n 个子载波时的信噪比 (SNR), 表示为:

$$Y_{k,n} = p_{k,n} H_{k,n} = \frac{p_{k,n} h_{k,n}^2}{N_0 \frac{B}{N}}, \quad (2)$$

式中 $p_{k,n}$ 为第 k 个用户在第 n 个子载波分配到的功率, $h_{k,n}$ 为用户在第 n 个子载波上的信道响应, $H_{k,n}$ 为等效的子载波信道增益, N_0 为噪声功率谱密度.

2 基于比例公平的改进资源分配算法

根据第 1 节的分析可以得到 OFDMA 系统中速率为:

$$R_T = \frac{B}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} \log_2(1 + Y_{k,n}). \quad (3)$$

(3) 式可以进一步得到子载波和功率分配数学表达式:

$$\max_{c_{k,n}, p_{k,n}} R_T = \frac{B}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} \log_2(1 + Y_{k,n}), \quad (4)$$

约束条件为:

$$s. t. \begin{cases} C1: \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} p_{k,n} \leq P_{total} \\ C2: p_{k,n} \geq 0, \quad \forall k, n \\ C3: \sum_{k=1}^K c_{k,n} = 1, \quad \forall n \\ C4: c_{k,n} \in \{0, 1\}, \quad \forall k, n \\ C5: R_1: R_2: R_3: \dots: R_k = \alpha_1: \alpha_2: \alpha_3: \dots: \alpha_k \end{cases}, \quad (5)$$

式中 C1、C2 为功率分配约束条件, 它限制了总的分配功率不能超过系统的总发射功率, C3、C4 是关于子载波分配的, 用来保证每个子载波只能分配给唯一的一个用户, C5 是用户速率公平比例约束条件, 用来确保用户间的公平性, α 为公平比例约束因子.

改进算法的目标是在满足一定比例速率公平的同时, 使系统容量最大化. 算法的具体分配步骤如下:

A) 子载波分配算法

1) 根据比例速率约束条件 $R_1: R_2: R_3: \dots: R_k = \alpha_1: \alpha_2: \alpha_3: \dots: \alpha_k$, 设每个用户需要分配的子载波数与各用户的速率成正比关系, 即 $N_1: N_2: N_3: \dots: N_k = \alpha_1: \alpha_2: \alpha_3: \dots: \alpha_k$, 由此可算出每个用户需要分配的子

载波个数 $N_k = \frac{\alpha_k}{\sum_{k=1}^K \alpha_k} N$.

2) 初始化各参数值: 初始化每个用户的速率 $R_k = 0$, 每个用户分配到的子载波集合 $\Omega_k = \{0, 1, \dots, N_k\} \forall k \in 1, \dots, K$, N 个子载波集合 $A = \{1, \dots, N\}$, 用户集合 $U = \{1, 2, \dots, K\}$, 分配出去的子载波个数

$N^* = \sum_{k=1}^K N_k, c_{k,n} = 0$.

3) 根据各子载波在每个用户上的平均信道增益, 按照从小到大的顺序对用户进行排序, 平均信道增益最差的用户优先选择子载波. 各个子载波在每个用户上的平均信道增益 $\bar{H}_k = \frac{1}{N_k} \sum_{n=1}^{N_k} |H_{k,n}|^2$, 令 $\bar{H}_1 \leq$

$\bar{H}_2 \leq \dots \leq \bar{H}_k$.

4) 依次为每个用户分配一个在该用户上的信道增益最好的子载波. 更新参数值 $c_{k,n} = 1, N_k = N_k -$

$$1, A = A - \{n\}, R_k = R_k + \frac{B}{N} \log_2(1 + \bar{P}H_{k,n}).$$

5) 当 $N^* \neq \emptyset$ 时, 继续分配子载波, 且比例速率最小的用户具有优先选择子载波的权利. 寻找比例速率最小的用户 k , 即 $k = \arg \min_{k \in U} \frac{R_k}{\alpha_k}$.

6) 分配第一步中按比例取整是剩余的子载波, 每个子载波被分配给一个对其信道增益最优的用户.

B) 比例公平速率约束下的最优化功率分配算法, 在子载波方案确定以后, 针对优化目标函数, 采用拉格朗日乘法, 将 (4) 式转化为

$$L = \sum_{k=1}^K \sum_{n \in \Omega_k} \frac{B}{N} \log_2(1 + p_{k,n} H_{k,n}) + \lambda_1 \left(\sum_{k=1}^K \sum_{n \in \Omega_k} p_{k,n} - P_{\text{total}} \right) + \sum_{k=2}^K \lambda_k \left[\sum_{n \in \Omega_k} \frac{B}{N} \log_2(1 + p_{k,n} H_{k,n}) - \frac{\alpha_k}{\alpha_{k-1}} \sum_{n \in \Omega_{k-1}} \frac{B}{N} \log_2(1 + p_{k-1,n} H_{k-1,n}) \right], \quad (6)$$

式中 λ_k 是拉格朗日乘子, 对 (6) 式不同的 $p_{k,n}$ 分别进行求导, 可以得到单个用户内部子载波之间的注水功率分配.

3 仿真结果分析

在已有算法^[4]的基础上加入子载波个数求解, 设置用户选择子载波时的优先权及每个用户分配到的子载波个数限制, 降低了功率分配的计算复杂度.

仿真采用的用户数 $K=2, 4, \dots, 16$, 子载波数 $N=64$, 带宽 $B=1$ MHz, 误码率为 10^{-3} , 系统总的发射功率 $P_{\text{total}}=1$ W, 平均信噪比 $\gamma=10$ dB, 公平比例约束因子 α_k 设置为: 前 $K-1$ 个用户为 1, 最后一个用户为 2, 对 1 000 次仿真结果取平均. 仿真结果如图 2, 图 3 所示, 图 2 为用户数量与系统速率的关系曲线, 可以看出在功率一定的情况下, 随着用户数的增加, 系统速率总体增加, 用户数 $K=2, 4$ 时, 本算法与文献[4]算法性能相近, 当 $K>6$ 时, 本算法的系统速率更高, 当 $K=16$ 时, 提高了约 2%. 图 3 为微蜂窝系统中同样的总功率、子载波条件下用户数量与 CPU 运行时间的关系, 由图 3 可知, 本算法平均运行时间为 0.001 s, 比文献[4]所提算法的运行时间(0.01 s)少 0.009 s, 降低了运算复杂度.

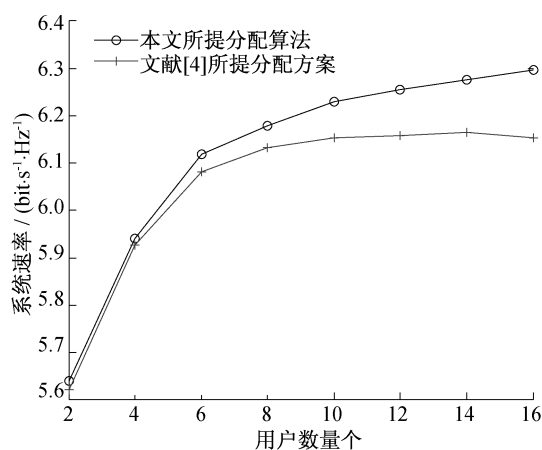


图2 微蜂窝系统中总功率、子载波相同条件下用户数量与系统速率关系曲线

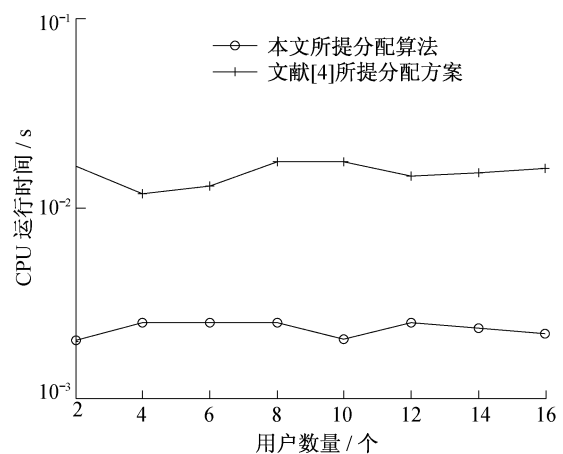


图3 微蜂窝系统中总功率、子载波相同条件下用户数量与 CPU 运行时间关系曲线

4 结 论

介绍了一种具有优先级的 OFDMA 系统动态子载波和功率分配算法,该算法改进了已有的经典算法,通过仿真比较可以看出,所提算法在系统速率上比经典算法有进一步提高,当用户数量较大时,系统和速率较文献[4]所提的算法提高了约 $0.14 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$,运行时间减少 0.009 s 左右。

本算法的前提是假设收发端能获得完整信道状态信息,而实际系统中总会存在干扰等因素引起的信道状态信息反馈偏差,这些不精确的信息都有可能给提出的子载波和功率分配方案带来不同程度的影响,因此有必要在下一步工作中考虑不完全信道状态信息对系统的动态资源分配算法产生的影响。

参考文献:

- [1] Fan J C, Yin Q Y, Li G Y, et al. Adaptive block-level resource allocation in OFDMA networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011, 10(11): 3966 – 3972.
- [2] Sadr S, Anpalagan A, Raahemifar K. Radio resource allocation algorithms for the downlink of multiuser OFDM communication systems [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2009, 11(3): 92 – 106.
- [3] Mohanram C, Bhashyam S. Joint subcarrier and power allocation in channel-aware queue-aware scheduling for multiuser OFDM [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(9): 3208 – 3213.
- [4] Lo K K, Chien S F, Chieng D, et al. Proportional resource allocation for OFDMA [J]. IEEE Region 10 Symposium, 2014: 88 – 92.
- [5] 叶培青, 李莉, 周小平, 等. 基于 Kuhn-Munkres 算法保证认知用户 QoS 的动态频谱分配 [J]. 上海师范大学学报 (自然科学版), 2013, 42(2): 137 – 142.
Ye P Q, Li L, Zhou X P, et al. Dynamic spectrum allocation based on Kuhn-Munkres algorithm to guarantee cognitive users' QoS [J]. Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences), 2013, 42(2): 137 – 142.
- [6] Wong I C, Shen Z, Evans B L, et al. A low complexity algorithm for proportional resource allocation in OFDMA systems [J]. IEEE Workshop on Signal Processing Systems, 2004: 13 – 15.
- [7] Ren Z Y, Chen S Z, Hu B, et al. Proportional resource allocation with subcarrier grouping in OFDM wireless systems [J]. IEEE Communications Letters, 2013, 17(5): 868 – 871.

(责任编辑:顾浩然,包震宇)