

多用户 OFDM 系统中的快速资源分配算法

李宏伟, 朱小鹏, 蒋 莉

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘 要:提出了一种新的多用户 OFDM 系统中的快速子载波和比特分配算法。在给定每个用户数据传输的误比特率和数据速率的前提下,首先根据各用户的信号状况信息进行简单的初始分配确定最初的子载波分配方案并用贪婪算法进行比特分配,在此基础上按照文中的方法对初始分配结果进行子载波之间的交换,不断迭代优化实现最终的子载波和比特分配,以达到系统总的发射功率最小化的目的。同时,还分析了传统的静态子载波分配方案和几种自适应子载波、比特分配方案。通过不同算法的具体实施方案,比较了它们之间的优缺点。仿真结果表明:本文算法在性能上优于传统的静态子载波分配算法,且权值收敛速度较快,接近性能较好的拉格朗日松弛算法,而算法复杂度大大降低。

关键词:正交频分复用;子载波分配;比特分配

中图分类号: TN911.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)01-0065-04

正交频分复用(OFDM)是业界公认的下一代无线通信系统中的核心技术,具有良好的抗符号间干扰和抗频率选择性衰落等特性^[1-3]。为了实现多用户的接入,OFDM 可以与 TDMA,FDMA 以及 CDMA 等多址接入方式结合。由于无线信道中高速数据的多径传输引起信道的频率选择性衰落,OFDM 的自适应动态资源分配技术对提高系统性能起着至关重要的作用。

到目前为止,已出现了很多关于多用户 OFDM 系统的子载波和比特分配方案。Münz 使用注水算法解决了多用户 OFDM 系统的子载波和比特分配问题^[4],文献[5]提出了采用拉格朗日松弛算法的子载波分配方案。但这两种方法都具有较高的算法复杂度。随后,Zhang 提出了新的子载波分配算法^[6],该算法具有较低的复杂度,但在用户数较多时性能较差,Cioffi 等人则在一些次优算法方面进行了深入的研究^[7-8]。本文提出了一种快速的子载波和比特功率分配方案,在给定的误比特和用户数据传输速率的前提下,使发射功率最小化。仿真结果表明:在降低算法复杂度的同时,性能优于传统的静态子载波分配方案,且接近文献[5]提出的拉格朗日松弛算法。

1 系统模型

假设 OFDM 系统中共有 K 个用户, N 个子载波。此外假设用户信道状态信息(CSI)已知。发送端的子载波和比特分配模块根据每个用户的 CSI 为每个用户自适应分配子载波、比特和功率,再通过 IFFT 产生 OFDM 符号,并增加循环前缀作为保护间隔,此后将信息发送到信道上。接收端将收到的信息去保护间隔做 FFT 后送入解调模块,解调根据相应的子载波和比特分配信息提取数据。系统框图见图 1。

* 收稿日期:2007-04-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60672032)

作者简介:李宏伟(1966-),男,陕西渭南人,副教授,主要从事通信号处理和 DSP 应用技术研究。

E-mail:zxpkongjun@126.com

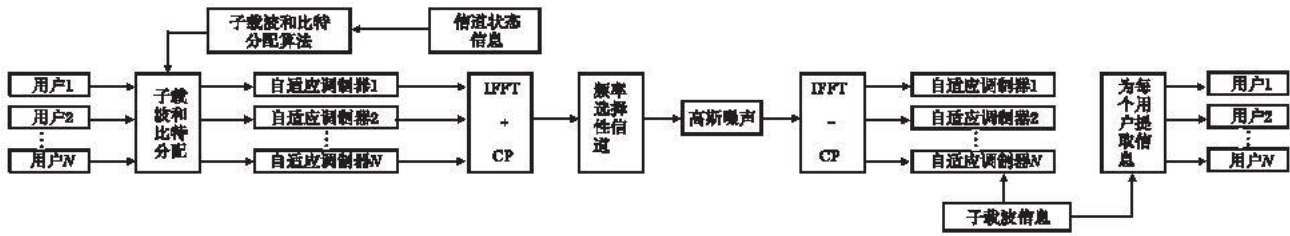


图1 多用户 OFDM 系统框图

Fig. 1 Multi-user OFDM system block diagram

在频率选择性衰落信道中,假设不同的子载波经历独立的衰落状况, $g_{k,n}$ 表示第 k 个用户在第 n 个子载波上的信道响应,同时假设所有子载波上的加性噪声的功率谱密度 N_0 都是 1。 $f_k(r)$ 表示在信道增益为 1 时,一个子载波内实现可靠接收 r 个信息比特所需要的接收能量,由相对应的调制编码方式决定。本文中假设每个用户都采用格雷码映射的 M-QAM 调制,则 $f_k(r)$ 可表示为^[9]:

$$f_k(r) = \frac{N_0}{3} \left[Q^{-1} \left(\frac{R_{\text{BER}}}{4} \right) \right]^2 (2^r - 1) \quad (1)$$

式中: R_{BER} 为目标误比特率, $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt$, 且必须满足以下 2 个条件:

- 1) $f_k(0) = 0$ 。即接收 0 bit 时,需要的功率为 0。
- 2) $f_k(r)$ 是下凸单调增函数,一般采用的调制编码方式都可以满足这一点。

由此可以得到,第 k 个用户的第 n 个子载波的发射功率应该为:

$$P_{k,n} = \frac{f_k(r_{k,n})}{g_{k,n}^2} \quad (2)$$

所以,使发射功率最小化的问题可表示为:

$$P_T = \min \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \frac{f_k(r_{k,n})}{g_{k,n}^2} \quad (3)$$

同时上式还要遵循如下 2 条限制,即:

- 1) 对所有的 $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, 满足: $R_k = \sum_{n=1}^N r_{k,n}$;
- 2) 每个子载波只能被一个用户所使用。即对 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ 来说,满足: 如果 $r_{k,n} \neq 0$ 则 $r_{k',n} = 0 \quad k' \neq k$

2 子载波和比特分配方案

子载波分配分两步进行。第 1 步:先根据各用户的信道状态信息,将各用户的信道增益按降序排列,再根据各用户传输数据速率的要求,按一定的规则为每个用户分配相应比例的子载波数,在每个用户所占有的子载波上按单用户系统中的贪婪算法分配每个用户的比特数;第 2 步:在每两个用户之间,寻找传输相同比特数的子载波并进行交换,若能减少发射总功率,则交换子载波,否则不交换。具体如下:

第 1 步:假设多用户 OFDM 系统中每个用户的传输速率相同,则 N 个子载波平均地分配给每个用户,即每个用户所占的子载波数为 $S_k = N/K$ 。接着进行如下操作:

- 1) 对于每个用户,按信道增益将子载波进行降序排列;
- 2) 在上面的排序列表中,每个用户都从列表的第一个子载波开始选取,且每次一个用户只选取一个子载波。对第 k 个用户,按如下规则进行子载波的选取:

①如果第 k 个用户的 S_k 已经满足,则跳过该用户进行第 $(k+1)$ 个用户的子载波选取。②如果我们当前考虑的子载波已经分配给其他用户,则跳过该子载波并考虑同一序列中的下一子载波。③如果上述 2 种情况都没有发生,则将当前考虑的子载波分配给第 k 个用户,接着考虑下一个用户。图 2 给出了子载波数为 6 用户数为 3 时的子载波选取示意图。

- 3) 由上 2 步对子载波分配完之后,在每个用户的子载波上,按单用户的贪婪算法分配比特。

第 2 步:在两两用户之间进行子载波调整。

- 1) 在两两用户之间,寻找传输相同比特数的子载波 i 和 j ,并计算相应的发送功率,记为: $P_{k,i}$ 和 $P_{k,j}$;

- 2) 在两个用户之间交换子载波 i 和 j , 并计算相应的发送功率, 记为: $P_{k,j}$ 和 $P_{k',i}$;
- 3) 比较 $P_{k,i} + P_{k',j}$ 和 $P_{k,j} + P_{k',i}$ 。若 $P_{k,i} + P_{k',j} > P_{k,j} + P_{k',i}$, 则这 2 个用户交换子载波, 否则不交换;
- 4) 重复 1) - 3), 直到没有可交换的子载波, 分配结束。

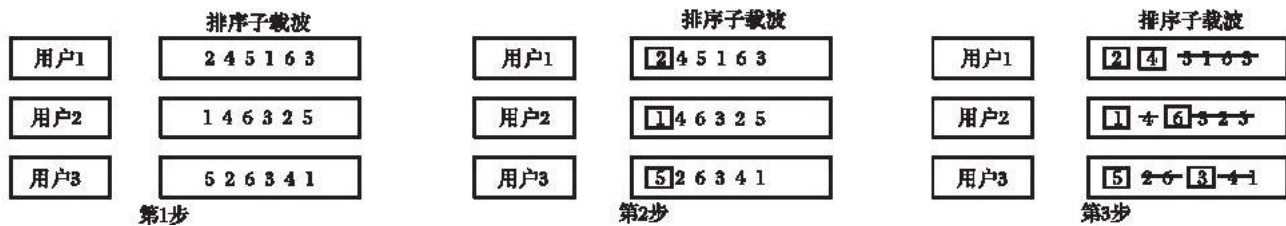


图 2 子载波选取步骤

Fig. 2 Steps of selection subcarriers

3 算法比较和性能分析

将本文提出的算法和如前所述的 3 种子载波和比特分配算法进行比较分析。算法介绍如下:

1) 静态的 OFDM - FDMA 子载波和比特分配方案是在每个 OFDM 符号中, 每个用户使用 OFDM 符号中固定的子载波, 任何用户不能使用其他用户的子载波。然后, 每个用户在自己分配到的子载波集合内利用单用户比特分配算法进行动态比特分配。此静态的子载波分配算法比较简单, 但其性能较差。

2) 拉格朗日松弛算法是通过给定的拉格朗日乘子 λ_k 的初值, 对每一个用户, 采用迭代法, 使 λ_k 的值递增, 直到满足该用户的数据传输速率要求。该算法性能非常好, 但其算法复杂度较高。

3) 张国栋的子载波分配算法是首先利用单用户比特分配算法为每个用户分配子载波, 然后对那些出现冲突的子载波, 强行将该子载波分配某一用户, 使整个系统发射功率增加最少, 并重复进行到没有任何子载波冲突。该算法复杂度较拉格朗日松弛算法有较大的简化, 其性能在用户数和比特数相对子载波数较少时接近拉格朗日松弛算法, 但在用户数和比特数相对子载波数较多时性能较差。

采用文献[10]中的仿真模型, 采用的频率选择性瑞利衰落无线信道用 6 抽头延迟线性系统来实现, 功率延迟谱假设为指数衰减。每个用户具有相同的数据传输速率, 均为 32 bit/符号。为仿真分析方便, 当用户数为 2, 4, 6, 8 时, 子载波数为 96; 当用户数为 10 时, 子载波数为 100。仿真结果见图 3、图 4。

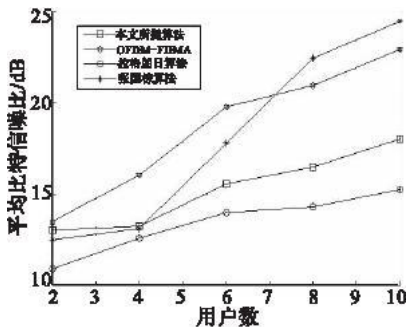


图 3 用户数与所需的平均信噪比关系曲线

Fig. 3 Relation curve of average SNR and the number of users

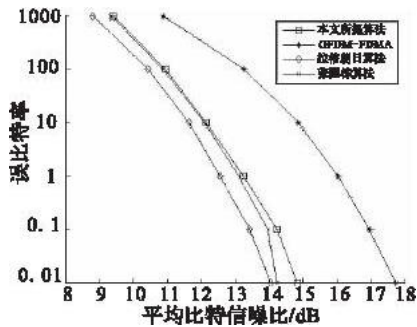


图 4 平均信噪比与误比特率关系曲线

Fig. 4 Relation curve of average SNR and bit error rate

图 3 显示了不同用户数时, 在给定的误比特率条件下, 每种算法完成可靠接收所需的发送平均比特信噪比。从图中可以看出, 本文提出的算法较 OFDM - FDMA 的性能有较大改善, 且随着用户数的增多, 性能改善越明显, 最大有 5 dB 的增益; 与张国栋算法比较而言, 在用户数较少时, 2 种算法性能相接近, 但随着用户数的增多, 张国栋算法的性能较差, 甚至比 OFDM - FDMA 还差; 虽然本算法的性能比不上拉格朗日算法, 但算法复杂度较其大大降低。图 4 显示了不同算法的平均信噪比与误比特率的关系图。从中可以看出, 当用户数为 4 时, 本文算法、张国栋算法和拉格朗日算法的性能接近, 都优于 OFDM - FDMA, 本算法较 OFDM - FDMA 最大有 3 dB 的性能增益。

4 结束语

从以上分析可知,本文所提出的算法在性能上接近拉格朗日算法,而张国栋算法在用户数较多时,由于冲突子载波增多,会导致某一用户某一些子载波上分配较多的比特,最终导致总的发射功率增加。因此,在用户数增多时,该算法的性能较差。在算法复杂度方面:拉格朗日算法是一种单步迭代优化,权值收敛需要大量的计算,而本文算法在初始分配是只进行简单的比较,之后再进行比较分配,复杂度大大降低。综上所述:本文算法在算法复杂度和性能之间取得了比较好的折衷,是一种快速的子载波和比特分配方案,可用于实时的多用户 OFDM 系统,且性能较传统的静态 OFDM - FDMA 方式有较大改善。

参考文献:

- [1] 彭 林. 第三代移动通信技术[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
PENG Lin. Mobile Communication Technology of 3G[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2001. (in Chinese)
- [2] 李立华,王 勇,张 平. 移动通信中的先进信号处理技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2005.
LI Lihua, WANG Yong, ZHANG Ping. Advanced Signal Processing Technology in Mobile Communication[M]. Beijing:Beijing University of Posts and Telecommunications Press,2005. (in Chinese)
- [3] 张贤达,保 铮. 通信信号处理[M]. 北京:国防大学出版社,2000.
ZHANG Xianda, BAO Zheng. Communication Signal Processing[M]. Beijing:National Defence University Press,2000. (in Chinese)
- [4] Münz G, Pfletschinger S, Speidel J. An Efficient Waterfilling Algorithm for Multiple Access OFDM[J]. Global Telecommunications Conference,2002,(1): 17 - 21.
- [5] Cheong Y W, Cheng R S, Lawief K B, et al. Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit, and Power Allocation[J]. IEEE Journal Selected Areas in Communications,1999,17(10):1747 - 1758.
- [6] Zhang Guodong. Subcarrier and Bit Allocation for Real - time Services in Multiuser OFDM Systems[C]. IEEE International Conference on Communications. New Jersey:IEEE,Piscataway,2004:2985 - 2989.
- [7] Rhee W, Cioffi J M. Increase in Capacity of Multiuser OFDM Systems Using Dynamic Subchannel Allocation[C]//Proc IEEE Vehicular Technology Conference. Tokyo, Japan:IEEE,2000:1085 - 1089.
- [8] Kivanc D, Liu Hui. Subcarrier Allocation and Power Control for OFDMA[C]//Conference Record of the Thirty - fourth Asilomar Conference. Pacific Grove, CA, USA:Signals, Systems and Computers,2000:147 - 151.
- [9] Proakis J G. Digital Communications[M]. Beijing :Publishing House of Electronics Industry,2001.
- [10] Shen Zukang, Andrews Jeffrey G, Evans Brian L. Adaptive Resource Allocation in Multiuser OFDM Systems with Proportional Rate Constraints[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2005,4(6):2726 - 2737.

(编辑:徐楠楠)

A New Fast Sub - carrier and Bit Allocation Algorithm Applied in Multi - user OFDM Systems

LI Hong - wei, ZHU Xiao - peng, JIANG Li

(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: In this paper, a new fast sub - carrier and bit allocation algorithm in multi - user OFDM systems is proposed. Under the BER and each user's rate requests, according to the information of channel state of all users, first the sub - carriers are pre - allocated, then, bit allocation is performed to every sub - carrier. Based on the above, After this, we exchange the pre - allocated subcarriers using the method intruded in this paper and optimize iteratively to achieve the final allocate to realize the minimize the transmitting power. At the same time, this paper analyses the tradition static subcarrier - allocation method and several adaptive subcarrier and bit allocation method. According to comparing the method of different algorithms, compare the merit and defect of them. The simulation results show that the proposed algorithm performances better than the tradition static subcarrier - allocation method and convergences quickly, the performance being close to the Lagrange algorithm, while the complexity is low.

Key words: OFDM; subcarrier allocation; bit allocation