

基于遗传算法的多用户 OFDM 系统 资源分配策略

滕志军¹, 谢露莹^{1*}, 咸悦², 徐忠民¹, 楚玉刚³

(1.东北电力大学 信息工程学院, 吉林 吉林 132012;

2.吉林农业科技学院 电气与信息工程学院, 吉林 吉林 132101;

3.国网鸡西电力供电公司, 黑龙江 鸡西 158100)

摘要:针对多用户 OFDM 系统资源分配算法复杂度高且误码性能不理想等问题,提出了在考虑用户速率情况下保证发射功率最小的子载波和比特分配方案,并通过引入遗传算法使系统通过解的编码、初始群体的生成、构建适应度函数、生成种群、遗传策略、变异规则等过程的改进,得到系统优化问题的全局最优解,同时也使算法复杂度降低.仿真结果表明,在信噪比相同的情况下,该方案可以进一步减小系统的误码率.

关键词:多用户;OFDM 系统;资源分配;遗传算法

中图分类号:TN919 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2018)01-0057-06

Resource Allocation Strategy for Multi-user OFDM Systems Based on Genetic Algorithm

Teng Zhijun¹, Xie Luying¹, Xian Yue², Xu Zhongmin¹, Chu Yugang³

(1.Information Engineering College, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China;

2.School of Electrical and Information Engineering, Jilin Agricultural Science and Technology University, Jilin 132101, China;

3.State Grid Jixi Electric Power Supply Company, Jixi 158100, China)

Abstract: To solve the problem that the resource allocation algorithm for multi-user OFDM systems had high complexity and the coding performance was not ideal, the allocation method for subcarriers and bits which guarantees the minimal transmit power was proposed considering the user rate. By introducing genetic algorithm, the global optimization of system optimization problem was obtained by improving the system process of coding, generation of initial population, constructing fitness function, generating population, genetic strategy, mutation rules, etc. In the meantime, the complexity of the algorithm was reduced. Simulation results show that the improved method reduce more bit error rate of the system than the original algorithm under the same signal-noise ratio.

Keywords: multi-user; OFDM system; resource allocation; genetic algorithm

OFDM 技术既可以看作一种复用技术也是多载波调制技术,该技术以其在频谱利用率较高时仍能够有效抵抗多径时延并消除干扰的优点,成为无线通信首选的调制技术^[1-2],加之其适合于数据的高速传输,因此近年来广泛应用于无线通信系统^[3-4].

现有的 OFDM 系统的资源分配算法可以划分为分别基于边值自适应和速率自适应的 2 种优化分配算

收稿日期:2016-11-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51277023)

*通信作者, E-mail: 2539965119@qq.com

法.边值自适应算法的目的是使发射功率最小,同时保证以误码率为约束条件,这类算法虽然能保证误码率低的优点,却容易造成传输速率低;速率自适应算法出发点是使传输速率达到最大值,即以预设的总功率为限制条件下,使每个用户所占有的速率值最大化,也就是系统实时吞吐量最大化^[5-6],但算法过于复杂不易实现.文献[7-8]所提出的资源分配方案是基于边值自适应的原则,这种分配方案可以使 OFDM 系统的传输功率相对于先前的算法减小大约 10 dB.文献[9-10]所描述的算法都是基于速率自适应原则,二者的不同之处在于,文献[9]是信噪比较高时的近似最优解,而文献[10]的假设条件是线性的,此时近似最优解是利用直接解线性方程组的方法得到的.为方便描述,分别以作者名字对算法进行命名,文献[9-10]的算法满足速率比例的预设条件,二者都能够有效提高该系统的容量.但是以上算法都是采用联合分配方式,运算步骤较为繁琐.

遗传算法作为一种可以对分配过程随机搜索的优化算法,适用于求解带有多参数问题,将该算法应用于基于系统容量最大化和发射功率最小化原则的分配方式,能够解决 OFDM 系统的资源分配问题,同时进一步使系统性能获得提升^[11-12].本文主要解决 OFDM 系统中的子载波及比特功率的自适应分配问题,将遗传算法^[13-14]应用于解决方案,使系统的发射功率最小化并保证系统中用户公平性.

1 OFDM 系统通信模型

多用户 OFDM 系统中,每个用户可占用多个子信道,而造成每个子信道的传输能力不同的原因有以下 2 点:首先是系统由于选择性衰落而导致的衰落程度不同,其次是传输路径差异导致衰落参数不同,所以当 1 个子信道对于其中 1 个用户出现较严重衰落,但孩子信道对于另 1 个用户而言可能显现较理想的传输性能.因此当用户数增多时,信道在多用户 OFDM 系统的分集效果就越好^[15-16].由于无线信道具有动态性,是实时变化的,自适应的资源分配方式可以通过对不同用户信道增益的分析为每个用户动态分配资源,这种分配方法可高效利用多用户的分集使性能获得提升.多用户 OFDM 系统自适应资源分配原理如图 1 所示.

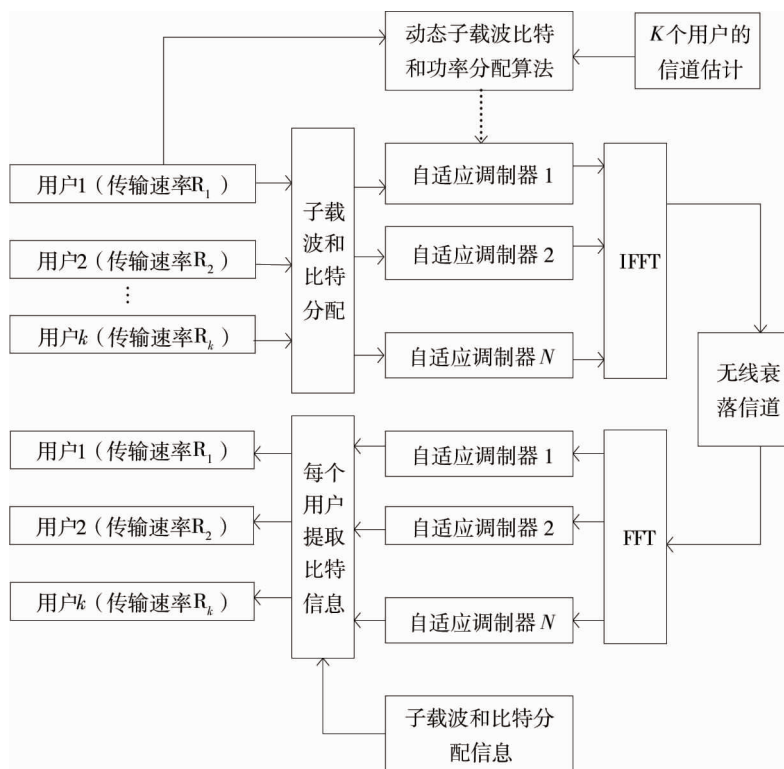


图 1 多用户 OFDM 自适应资源分配系统原理框图

在 OFDM 系统中,假设其有 K 个用户,该系统有 N 个子载波,可用带宽为 B ,定义 $r_{k,n}$ 表示第 k 个用户在第 n 个载波上的传输速率,综上所述,为保证在 OFDM 系统接收端的用户速率及对传输质量的需求,每

个子载波上的发射功率应为^[7-8]

$$p_{k,n} = \frac{f_k(r_{k,n})}{g_{k,n}^2}. \quad (1)$$

式中: $p_{k,n}$ 为每个子载波的发射功率; $f_k(r_{k,n})$ 为系统的子信道功率与传输速率的关系式, 由于不同的调制方式所产生的函数关系是不同的, 因此, 具体计算方式应按照调制方式而确定; $g_{k,n}$ 为子信道增益, 则总发射功率可表示为^[17]

$$P_{k,n}^* = \min_{r_{k,n} \in D} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \frac{f_k(r_{k,n})}{g_{k,n}^2}. \quad (2)$$

式中: $P_{k,n}^*$ 为系统的总传输功率; D 为全体整数. 该系统的约束条件:

1) 对于所有的 $k \in \{1, \dots, K\}$ 来说, 满足

$$R_k = \sum_{n=1}^N r_{k,n}. \quad (3)$$

式中: R_k 为第 k 个用户在所有子载波上的总传输速率, 意义是保证系统中的所有用户都可以传输数据.

2) 对于所有 $n \in \{1, \dots, N\}$ 来说, 当 $r_{k,n} \neq 0$ 时, 表示第 k 个用户可以利用第 n 个子载波; 当 $r_{k,n} = 0$ 时, 表示 k 个用户不可以利用第 n 个子载波.

2 算法分析

由 OFDM 系统的数学模型可知, 该系统的线性优化目标是一个非多项问题, 求解的计算复杂度非常高, 简化上述非多项问题的办法是将子载波分配和比特功率分配进行联合分配, 并将分配方案拆分成 3 步进行: (1) 分配前准备过程: 对所有用户进行速率测量及分析, 预设出速率比例, 确定速率比例限制条件作为约束条件; (2) 子载波分配过程: 在假设功率平均分配的基础上, 根据速率比例限制条件把所有的子载波合理地分配给所有用户; (3) 比特功率分配过程: 在子载波分配完成基础上把系统可用的总功率再按照边值自适应目标和速率比例限制条件分配给每一个子载波, 此时子载波将得到系统分配的比特功率. 具体算法如下:

第 1 步, 子载波分配. 在一个 OFDM 传输系统中, 信道特征值会随用户数量的变化实时改变, 每个用户的子载波分配方案要考虑到对信道增益的比较. 而如果不考虑到用户速率比例的需求, 子载波分配方案就应该根据参照用户的增益大小而确定, 增益越大, 用户的优先级越高. 算法流程如图 2 所示.

第 2 步, 比特功率分配. 比特功率分配, 是在上一步分配完成之后再进行的, 为对这类非线性的分配问题, 求得非线性最优解, 在分配中引入了遗传算法. 算法为了保证最优的个体存活下来的几率更大, 引入了适应度的概念, 并且将所有用户总功率的倒数作为适应度值, 个体的适应度值越大, 个体越优异.

优化问题可以描述为

$$P_T = \min_{r_{k,n} \in D} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \frac{f_k(r_{k,n}) \rho_{k,n}}{g_{k,n}^2}. \quad (4)$$

式中: P_T 为系统的总功率; $\rho_{k,n}$ 取值为 $\{0, 1\}$, 表示第 k 个用户是否占用第 n 个子载波.

约束条件:

$$R_k = \sum_{n=1}^N \rho_{k,n} r_{k,n}, \quad k \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad n \in \{1, 2, \dots, N\};$$

$$R_1 : R_2 : \dots : R_K = \eta_1 : \eta_2 : \dots : \eta_K; \quad (5)$$

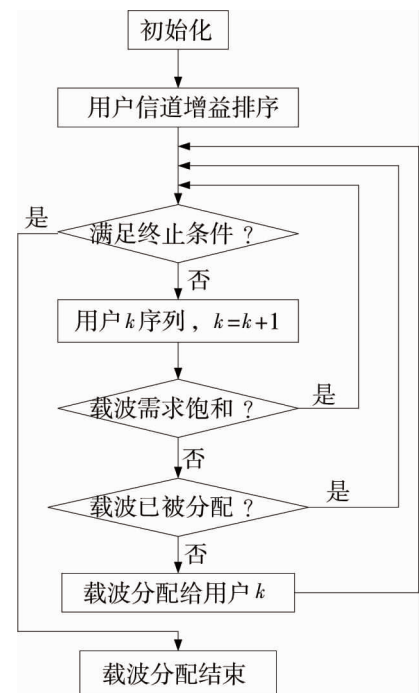


图 2 初始子载波分配算法流程图

$$\rho_{k,n} = \{0,1\}, \sum_{k=1}^k \rho_{k,n} = 1.$$

约束条件中,第1行公式代表系统总传输速率;第2行公式代表用户的传输功率符合预设比例;第3行公式代表每个子载波同时只能被一个用户所占用.具体过程如下:

1) 编码

现有的二进制编码虽然实现简单,但却容易造成编码后的染色体过于复杂,不利于后续的交叉和变异策略,因此,算法将采用数列的编码方式,随机形成有一个数列 $C = [c_1, c_2, \dots, c_N]$, 分配过程中用数列代表用户可用的子载波,元素的序号代表子载波上的比特数目.

2) 生成初始种群

生成初始种群即种群的初始化,当初始种群通过随机选取而产生时,系统是更容易得到全局最优解的,整个过程也更能体现公平性.因此,初始群体将由全部个体通过随机筛选而得到.

3) 计算适应度

上文中提到适应能力将伴随适应度的增大而变强.首先计算出由每个载波上的功率倒数得到适应度的值,然后将得到的数值按照倒序排列,淘汰排名靠后的个体.

4) 遗传策略

算法的遗传过程在上一代中采用轮盘赌的方法选出个体组成下一代的双亲,按照适应度越大则存留下的概率越大这一原则进行进化.但由于对优异个体的保护,在遗传策略中,允许出现某个个体重复的情况的.

5) 交叉

算法采用两点交叉方法,在此过程现有种群中每2个个体互相交配,接下来这2个个体将进行移位变换,更改所在位置,而同时原位置也会被新的个体所替换.交叉过程结束后将得到子代的个体,种群在不断交配的过程中可以越来越靠近最优解.

6) 变异

变异即基因重新生成的过程,在此过程新用户有机会占用已被占用的子载波,变异同样是随机产生的.变异后还需要对产生的新个体进行判断,如果新个体并不满足用户需求(即预设的速率比例),那么变异过程是失败的,需要重新变异直至结束变异.

7) 返回步骤(3)循环

当遗传的代数达到了预设的繁衍代数 T 时,或者保持动态稳定也就是按照适应度由大至小排序的个体顺序已经确定,那么此时的最优解为最后一代的个体.

3 算法仿真与性能分析

约定仿真环境的带宽是 1.5 MHz, OFDM 系统中子载波数目为 128, 遗传算法的种群大小默认为 64, 将遗传算法与参考文献中的 Chen 算法和 Wong 算法进行仿真比较.

在仿真过程中,发射功率谱密度与噪声功率谱密度的比例定义为平均信噪比.仿真结果(图3~图5)显示了在约定系统中有8个用户的前提下,本文提出的遗传算法与 Z. Shen 算法和 C. Yong 算法在相同信噪比时误码率的大小对比.

由图3的仿真结果可知,当传输速率固定时,随着系统的平均信噪比增大,误码率呈下降趋势.这是因为随着信噪比的增加,系统容量也不断变大,此时更不容易出现误码情况;本文遗传算法相比其他2个算法,在同样仿真条件下,可以更好地保证通信系统的可靠性.图4和图5仿真结果同理.

纵观图3~图5这3个仿真结果可知,当系统具有相同信噪比时,不同的传输速率结果对误码率是有影响的,经过分析可知,系统总传输速率越大,误码率也会越大,这是因为,在 OFDM 系统数据传输过程中,若想增大系统容量,需要牺牲一定数据传输的准确率,也变相证明了在通信系统的有效性和可靠性是

相互矛盾的,不可同时满足最优.同时,多用户情况下产生的分集效应,也会使系统在信噪比相同的条件下误码率随传输速率的增大而增大.

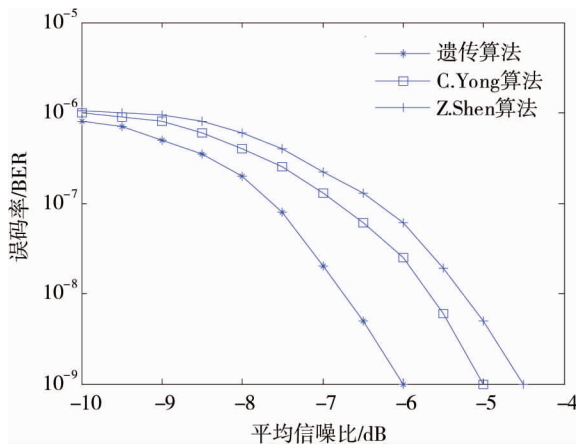


图 3 总体传输速率为 128 kbit/s 时误码率曲线

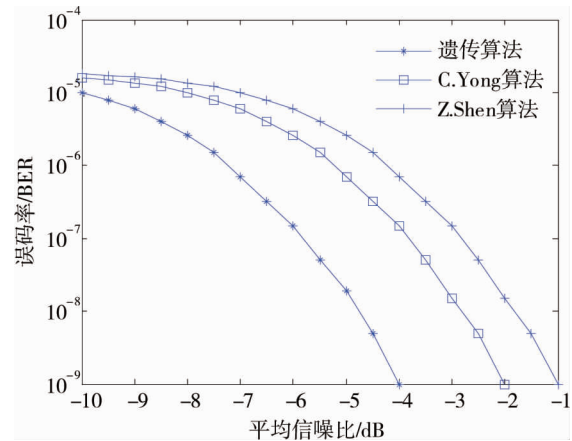


图 4 总体传输速率为 256 kbit/s 时误码率曲线

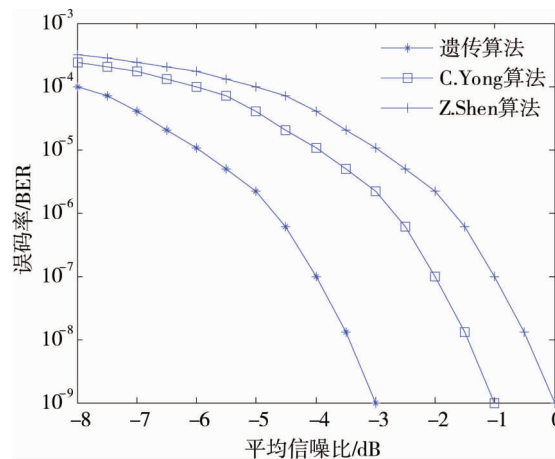


图 5 总体传输速率为 512 kbit/s 时误码率曲线

4 结论

1) 遗传算法可以在系统传输速率固定时大大降低其误码率,提高了多用户 OFDM 系统在信息传输可靠性方面的性能.

2) 遗传算法能有效降低运算的复杂程度.

3) 遗传算法的收敛速度有待提高,因此下一阶段将完善遗传算法的初始群体,通过对遗传算法群体规模简化方式的研究与验证,加快算法的收敛速度,提升算法性能.

参考文献:

- [1] 李云, 段海霞. OFDM 中继系统中能效优化的资源联合分配算法[J]. 通信学报, 2015, 36(3): 781-788.
- [2] 黄高平, 罗丽平. 具有时延 QoS 保证的 OFDM 中继系统子载波配对与功率分配算法[J]. 电子学报, 2013, 41(2): 335-339.
- [3] 王大鸣, 陆松. 多用户 MIMO-OFDM 系统基于 QoE 效用函数的跨层资源分配[J]. 通信学报, 2014, 9(35): 176-182.
- [4] Rey F, Lamarca M, Vazquez G. Robust power allocation algorithms for MIMO OFDM systems with imperfect CSI[J]. IEEE

- Transactions on Signal Processing, 2005, 53(3):1070-1085.
- [5] Liang H, Zhao X H. Primary user qoS and activity concerned resource allocation algorithm in OFDM based cognitive Radio System[J]. Chinese of Journal Electronics, 2013, 22(1):167-172.
- [6] Gong G, Lu J, Xiong C, et al. Cross-layer resource allocation based on mixed-service fairness for broadband power-line OFDM system[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(6):1390-1398.
- [7] 罗仁泽, 杨娇. MIMO-OFDM 系统训练序列构造及其同步方法[J]. 电子学报, 2014, 42(9):1781-1785.
- [8] Wang Y X, Chen F J, Wei G. Adaptive subcarrier and bit allocation for multiuser OFDM system based on genetic algorithm[J]. Communication Circuits and System International Conference on, 2005, 27(1):242-246.
- [9] 汪俊芳, 朱光喜, 金江. 基于遗传算法的多用户 OFDM 比特加载[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(2):27-29.
- [10] Wong C, Shen Z, Evans B L, et al. A low complexity algorithm for proportional resource allocation in OFDMA systems[J]. IEEE Signal Processing System, 2004, 10(12):1-6.
- [11] Shen Z, Andrews J G, Evans B L. Adaptive resource allocation in multiuser OFDM systems with proportional fairness[J]. IEEE Translation Wireless of Communication, 2005, 4(6):2726-2737.
- [12] 马永杰, 云文霞. 遗传算法研究进展[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(4):1201-1210.
- [13] 王迪, 吴鑫强, 王振浩. 基于改进遗传算法的含分布式电源配电网故障定位[J]. 东北电力大学学报, 2016, 36(1):1-7.
- [14] 孙亮, 吕凌虹, 张秀琦, 等. 智能优化算法应用于分布式电源配电网无功优化综述[J]. 东北电力大学学报, 2017, 37(4):27-31.
- [15] 刘琨, 廖晟宇, 殷润民. OFDM 无线通信系统中基于导频信息的信道估计方法[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2013, 32(5):597-602.
- [16] 何庆, 曾黄麟. 一种基于遗传算法的 OFDMA 系统的跨层资源分配[J]. 四川理工大学学报, 2013, 25(5):45-49.
- [17] Wong C Y, Cheng R S, Lataief K B, et al. Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(10):1747-1758.