



研究与开发

多载波多用户下行 NOMA 系统的资源分配算法

严杰, 宋荣方

(南京邮电大学, 江苏 南京 210003)

摘要: 非正交多址接入技术作为 5G 的候选技术之一受到了广泛关注。研究了以系统吞吐量优化为目标的多载波多用户 NOMA 系统下行链路的资源分配问题。在该问题的求解中, 为了提高系统的吞吐量, 子载波间采用线性注水算法, 叠加用户间采用分数阶功率分配算法。同时, 考虑了远近用户数目不等场景下能够调度更多的用户, 在 NOMA 传输方案设计中引入时分的概念, 将整个时间段 t 分为两个时隙, 在不同时隙内实现不同远近用户分组的动态配对方案, 从而在保证用户公平性的基础上, 充分利用子信道资源, 实现系统吞吐量的优化。仿真结果表明, 对比于传统 NOMA 和 OFDMA, 提出的方法可以在相同的发射功率情况下传输更多的比特数。

关键词: 非正交多址接入; 时分 NOMA; 吞吐量; 功率分配

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019230

Resource allocation algorithm for the downlink of multi-carrier and multi-user NOMA systems

YAN Jie, SONG Rongfang

Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

Abstract: Non-orthogonal multiple access (NOMA) technology had received considerable attention as a candidate technology for 5G cellular systems. The resource allocation problem in multi-carrier and multi-user downlink NOMA systems were studied with the goal of optimizing system throughput. In the solution of the problem, the linear water-filling power allocation was used between subcarriers as the fractional transmit power allocation algorithm was used between the superposed users, so that system throughput could be improved. Meanwhile, the concept of time slot was adopted in the design of NOMA transmission scheme, in order to be able to schedule more users in the scenario where the number of cellcenter users and celledge users were not equal. The whole time period was divided into two time slots. On the basis of ensuring the fairness of users, different user pairing groups were implemented in different time slots so as to fully utilizing the entire resource to improve system throughput. The simulation results show that this method can transmit more bits under the same transmit power comparing with traditional non-orthogonal multiple access(NOMA) and OFDMA.

Key words: NOMA, TS-NOMA, throughput, power allocation

收稿日期: 2019-05-28; 修回日期: 2019-09-12

基金项目: 江苏省科技项目“MIMO-NOMA 巨连接系统功率最小化预编码新方法”(No.BK20181392)

Foundation Item: Science and Technology Project of Jiangsu Province “A New Precoding Method for Power Minimization of MIMO-Noma Giant Connection System” (No.BK20181392)



1 引言

为了更好地满足移动互联网的发展和智能终端的普及, 5G 移动通信应运而生。5G 时代带来的不仅是网速的变化, 更多的是生活方式的颠覆, VR 娱乐体验、城市物联甚至无人驾驶都要依靠 5G。目前各界对 5G 的核心性能指标达成了以下基本共识^[1-3]: 超高的传输速率, 未来 5G 系统峰值速率将达到 10 Gbit/s; 极好的体验速率, 5G 网络不仅能给用户带来最低 10 Mbit/s 的用户体验速率, 还能让诸如医疗中实时视频传输等特殊业务成为现实; 时延更低和可靠性更高, 在 5G 网络中, 端到端时延将缩小到更微小的时间单位 (ms 级), 用户将享受零时延般体验的实时传输; 更大容量的连接, 相较于当前 4G, 5G 系统在设备连接能力上将提高 100 倍。当前 4G 和 4G 之前系统采用的多址接入方案都是正交的, 它们对用户的区分是利用时域、频域或码域中的一种或多种。正交多址接入方案的优势在于便于用户检测, 但由于正交性限制, 系统能够承载的用户数受到了制约。从 1G 到 4G, 大多采用了正交多址接入方式来避免多址干扰, 其接收机复杂度相对较低, 但限制了无线通信资源的自由度^[4]。随着 LTE 系统对物理层关键技术的深度挖掘, 系统容量已经逼近香农极限, 5G 频谱效率和系统容量的突破需另辟蹊径^[5]。因此, 正交多址接入技术无法高度契合未来 5G 巨连接的需求, 已有研究表明非正交多址接入 (non-orthogonal multiple access, NOMA) 技术不仅可以逼近多用户信道容量界^[6], 同时允许更多的用户连接以及支持更高的效率^[7], 故 NOMA 成为 5G 多址技术研究热点。

用户分组、功率分配以及干扰消除是 NOMA 系统取得更好效果的重要因素。研究表明, 合理的用户分组和功率分配方案设计可以充分发挥 NOMA 的优势^[8]。首先, 对于用户分组的研究,

参考文献[9]提出了一种贪婪分组算法, 该算法的基本思想是选取局部最优解, 即在每一步的求解中都选取当前的最优解。其次, 对于功率分配的研究, 参考文献[10]引入了 FSPA (full search power allocation, 全空间搜索功率分配) 算法、FTPA (fractional transmit power allocation, 分数阶功率分配) 算法和 FPA (fixed power allocation, 固定功率分配) 算法 3 种算法。FSPA 遍历了各种可能的功率组合, 虽然可以得到最佳的选择, 却带来了较高的复杂度; FTPA 是一种自适应性算法, 其自适应性在于它将用户本身信道条件的差异考虑在内; FPA 则是按固定的比例将功率分配给用户, 这样的好处是减少了信令开销, 但由于缺乏对信道状态信息的考虑, 不能用于解决实际问题。参考文献[11]中提出了注水功率算法, 它的基本思想是子载波间的功率分配需充分结合各个子载波的信道条件。最后, 关于干扰消除技术, SIC (successive interference cancellation, 串行干扰消除) 和 PIC (parallel interference cancellation, 并行干扰消除) 是两种常见的方式。逐级消除多址干扰是 SIC 检测技术的核心思想。具体来说, 当用户信号到达接收端后, 接收端首先对强干扰用户进行检测得到该用户信号的估值, 接着在信道信息的基础上重新构建该信号, 并将其从接收信号中减去, 如此逐级进行, 最终检测出期望的用户信号^[12]。PIC 的核心思想和 SIC 类似, 不同之处在于 PIC 采用并行干扰消除, 每一级可以完成对多个用户信号的干扰去除。

本文在联合利用用户分组方法、功率分配方案以及干扰消除技术的基础上引入时分的概念, 研究以系统吞吐量优化为目标的多载波多用户 NOMA 系统下行链路的资源分配问题。为了提高系统的吞吐量, 子载波间采用线性注水算法, 在同一子载波的不同用户间采用分数阶功率分配算法。并且, 不同于已有参考文献中远近用户数目相等的假设, 本文考虑更加实际的远近用户数目

不等的场景。此时,为了能够调度更多用户,在子载波上采用时分的概念,即将整个时间段 t 分为两个时隙,在不同时隙内实现不同远近用户的动态分组配对,从而在保证用户公平性的基础上充分利用了子信道资源,实现系统吞吐量的优化。仿真结果表明,本文提出的算法可以在相同的发射功率情况下传输更多的比特数。

2 系统模型

2.1 无差错传播模型

本文考虑的是无差错传播模型,接收端信号的检测分离是通过串行干扰消除技术实现的。假设某小区有两个用户 $k1$ 、 $k2$,基站分配给两个用户的功率分别为 p_1 、 p_2 。信道带宽为 1 Hz ,噪声是均值为 0 、方差为 σ_n^2 的高斯白噪声。用户 $k1$ 靠近基站,假设其信道增益为 h_{k1} ,用户 $k2$ 远离基站,假设其信道增益为 h_{k2} , $h_{k1} > h_{k2}$ 。

根据 SIC 接收机原理,由于最容易被捕获的是信号最强的用户,所以接收机首先检测的是功率最大的用户。在下行传输时,用户 $k1$ 分配到的功率小,用户 $k2$ 将用户 $k1$ 视为噪声处理,直接解调自身的信号。而用户 $k1$ 则先要消除用户 $k2$ 带来的干扰,再解调自身的信号。无差错理想传播模型即假设如果用户 $k1$ 在去除用户 $k2$ 干扰的过程中没有差错出现,没有残余干扰,那么此时用户 $k1$ 的传输速率可以表示为:

$$R_{k1} = \log \left(1 + \frac{p_1 |h_{k1}|^2}{\sigma_n^2} \right) \quad (1)$$

用户 $k2$ 的传输速率可以表示为:

$$R_{k2} = \log \left(1 + \frac{p_2 |h_{k2}|^2}{p_1 |h_{k2}|^2 + \sigma_n^2} \right) \quad (2)$$

2.2 下行 NOMA 基本模型

假设某小区内,子载波的数目为 N ,系统的总带宽为 B ,子载波平分系统的总带宽。小区中等待服务的用户数量为 K ,系统总的发射功率为

P_{tot} 。假设第 n 个子载波上的叠加用户数为 k_n ,则子载波 n 上的叠加信号可以表示为:

$$s_n = \sum_{k=1}^{k_n} \sqrt{p_{k,n}} x_{k,n} \quad (3)$$

其中, $p_{k,n}$ 表示第 k 个用户在子载波 n 上的功率, $x_{k,n}$ 表示第 k 个用户在子载波 n 上的发送信号。

由此可以得到 UE_K 在子载波 n 上的接收信号:

$$y_{k,n} = h_{k,n} \sum_{i=1}^{k_n} \sqrt{p_{i,n}} x_{i,n} + w_{k,n} \quad (4)$$

其中, $h_{k,n}$ 和 $w_{k,n}$ 分别表示子载波 n 上的信道增益和噪声,假设噪声是方差为 σ_n^2 且均值为 0 的高斯白噪声。则式 (4) 可以展开为:

$$y_{k,n} = \sqrt{p_{k,n}} h_{k,n} x_{k,n} + \sum_{i=1, i \neq k}^{k_n} \sqrt{p_{i,n}} h_{k,n} x_{i,n} + w_{k,n} \quad (5)$$

其中, $\sqrt{p_{k,n}} h_{k,n} x_{k,n}$ 为用户 k 的期望信号, $\sum_{i=1, i \neq k}^{k_n} \sqrt{p_{i,n}} h_{k,n} x_{i,n}$ 为其余用户带来的干扰, $w_{k,n}$ 为噪声。

2.3 时分 NOMA (TS-NOMA) 基本模型

TS-NOMA 基本模型如图 1 所示,单个子载波上本文参考的用户模型是一个中心用户、两个边缘用户的 TS-NOMA 的基本模型。其余子载波均采用一个中心用户、两个边缘用户的模型,不失一般性地,下文仅以任一子载波为例进行分析。假设用户 1、用户 2 和用户 3 到基站的距离分别为 d_1 、 d_2 、 d_3 , $d_1 < d_2 \leq d_3$ 。用户 1、用户 2、用户 3 的信道增益分别为 h_1 、 h_2 、 h_3 。 $h_1 \sim \text{CN}(0, \lambda_1 = d_1^{-\alpha})$, $h_2 \sim \text{CN}(0, \lambda_2 = d_2^{-\alpha})$, $h_3 \sim \text{CN}(0, \lambda_3 = d_3^{-\alpha})$, α 是路径损耗系数。 H_m 为归一化信道增益:

$$H_m = \frac{|h_m|^2}{\sigma_n^2} = |h_m|^2 / N_0 B_{\text{noise}} \quad (6)$$

其中, N_0 表示加性高斯白噪声的功率谱密度, B_{noise} 是噪声所在的信道带宽, h_m 对应于相应的信道增益。

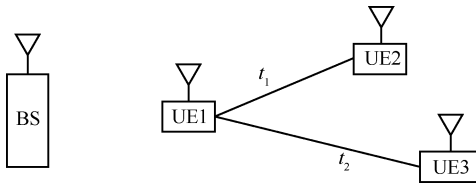


图1 TS-NOMA 基本模型

沿用 NOMA 的基本概念,在发射端通过功率复用技术叠加多个用户信号,当信号顺利到达接收端后,通过 SIC 技术检测得到期望用户信号^[13]。考虑到用户 2 和用户 3 具有相似的信道情况,在传统的 NOMA 分组中,用户 1 可以和用户 2 或用户 3 中的任一个配对为一组,剩下的一个用户使用 OFDMA (orthogonal frequency division multiple access, 正交频分多址) 进行信号传输。但这限制了 NOMA 系统实现的总吞吐量。本文将整个时间段 t 分为两个时隙 t_1 和 t_2 , 即 $t_1 + t_2 = t$ 。在 t_1 时间段内,用户 1 和用户 2 分组配对,在 t_2 时间段内,用户 1 和用户 3 分组配对。这种方式可在不同的时隙里充分利用整个子信道资源。

在无线通信系统中,吞吐量定义为单位时间传输到特定目的地的有用信息的数目(以 bit 为单位)^[14]。本文基于以上介绍的模型,研究以系统吞吐量优化为目标的多载波多用户 NOMA 系统下行链路的资源分配问题,本文研究的优化问题建模为:

$$\max \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M R_{n,m} \cdot T \quad (7)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M p_{n,m} \leq P_{\text{tot}} \quad (8)$$

$$p_{n,m} \geq 0 \quad (9)$$

其中,式(8)是总功率约束,表示所有用户功率不能超过总发射功率。式(9)表示子载波 n 上的用户都能分配到一定的功率。显然该问题是非凸的,很难直接获得其最优解。为求解该非凸优化问题,本文将其分成用户分组和功率分配两个子问题。在采用本文引入的时分概念后,系统既可以避免功率复用技术下距离相近用户信号间的干

扰,同时在用户检测时还能减少逐级检测次数,降低复杂度。本文在子载波 n 上分配了 3 个用户, T 时间内的传输比特数即可记为:

$$R \times T = (R_{1,t_1} + R_{2,t_1}) \times t_1 + (R_{1,t_2} + R_{3,t_2}) \times t_2 \quad (10)$$

$$\text{s.t.} \quad t_1 + t_2 = T \quad (11)$$

R_{1,t_1} 为用户 1 在 t_1 时间段内的传输速率, R_{2,t_1} 为用户 2 在 t_1 时间段内的传输速率, R_{1,t_2} 为用户 1 在 t_2 时间段内的传输速率, R_{3,t_2} 为用户 3 在 t_2 时间段内的传输速率。在 TS-NOMA 下,传输比特数可以看成两部分的组合,即 t_1 时间段内传输的比特数和 t_2 时间段内传输的比特数总和。对比于传统 NOMA 和 OFDMA,在两个时隙 t_1 和 t_2 中,TS-NOMA 都充分利用了所有的子信道资源。

3 用户分组、功率分配和吞吐量计算

3.1 用户分组

本文采用的用户分组算法如下。

步骤 1 初始阶段,先假设每个子载波上的用户数量为 0。令 $s_{k,n} = 0$ ($s_{k,n}$ 代表第 k 个用户是否占用第 n 个子载波), $R_k = 0$ (用户 k 的速率为 0)。 $A = \{1, 2, \dots, N\}$ 表示所有子载波集合, $U = \{1, 2, \dots, K\}$ 表示所有用户集合,其中子载波 $n \in A$, 用户 $k \in U$, 迭代次数 $t = 1$ 。

步骤 2 对于子载波 i ,先检查用户集合 U 中是否存在容量为 0 的多个用户,如果存在则挑选出具备最好信道增益的那个用户,否则选择使得 $R_{k,i} / R_k$ 最大的用户分组到集合 Ω_i ,同时在用户集合 U 中剔除该用户。

步骤 3 继续为第 i 个子载波寻找其他 $k_i - 1$ 个用户。

(1) 从用户集合 U 中任选用户记为 j ,计算当用户 j 加入子载波 i 后的总容量,找到使其能取得最大值的那个用户,记为 $\hat{j}$,将用户 $\hat{j}$ 加入到子载波 i 上,并将用户 $\hat{j}$ 从集合 U 中删除,更新 R_j 。

(2) 如果集合 Ω_i 中元素数目未达到 k_i 回到

(1) 继续寻找, 否则执行步骤 4。

步骤 4 令 $i = i + 1$, 寻找下一个子载波上的叠加用户分组。

步骤 5 如果 $i \leq N$, 重新回到步骤 2, 否则迭代完成, 跳出。

3.2 子载波间功率分配

子载波间的功率分配采用线性注水算法完成, 确定分组后, 子优化问题可写为:

$$\max \sum_{n=1}^N \frac{B}{N} \ln(1 + p_n H'_n) \quad (12)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{n=1}^N p_n \leq P_{\text{tot}} \quad (13)$$

其中, $H'_n = h_n'^2 / (N_0 B / N)$, h'_n 是子载波 n 的注水等效信道增益, 可以利用 Matlab 仿真找到一个最优值。

联立式 (12) 和式 (13), 构造拉格朗日函数:

$$L = \sum_{n=1}^N \ln(1 + p_n H'_n) + \lambda \left(P_{\text{tot}} - \sum_{n=1}^N p_n \right) \quad (14)$$

其中, λ 是拉格朗日乘子。

式 (14) 两边分别对 p_n 和 λ 求偏导数, 则有

$$\frac{\partial L}{\partial p_n} = \frac{1}{\ln 2} \times \frac{H'_n}{1 + H'_n p_n} - \lambda = 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = P_{\text{tot}} - \sum_{n=1}^N p_n = 0 \quad (16)$$

令 $\alpha = \lambda \ln 2$, 则可计算出:

$$\alpha = \frac{H'_n}{1 + H'_n p_n} \quad (17)$$

从而可以推出:

$$p_n = \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{H'_n} \quad (18)$$

最优的子载波功率 p_n 并不能由式 (18) 直接得到, 需要经过多次迭代确定。在每次迭代过程中, α 的初值以及每次迭代中的变动为:

$$\alpha_0 = \frac{1}{N} (P_{\text{tot}} + \sum_{n=1}^N \frac{1}{H'_n}) \quad (19)$$

$$\alpha \leftarrow \alpha + \mu \frac{1}{N_{\text{on}}} (P_{\text{tot}} - \sum_{n=1}^N p_n) \quad (20)$$

其中, $0 < \mu < 1$ 为调整步长, N_{on} 表示每次参与迭代的子载波数。依次对所有子载波执行注水分配, 就可以确定每个子载波的功率 p_n 。

3.3 子载波上叠加用户功率分配

分配完每个子载波的功率后, 子载波上的叠加用户功率分配采用 FTPA 方式进行, 因此第 m 个用户可以表示为:

$$p_m = P \times \frac{(H_m)^{-\alpha_{\text{FTPA}}}}{\sum_{i=1}^{M_n} (H_i)^{-\alpha_{\text{FTPA}}}} \quad (21)$$

其中, p_m 是用户 m 分配到的功率, P 是所在子载波功率, H_m 是归一化信道增益, α_{FTPA} 表示功率分配因子。通过调整 α_{FTPA} 的大小来弥补叠加用户间的信道差。当 $\alpha_{\text{FTPA}} = 0$ 时, FTPA 演变成平均功率分配方案。随着 α_{FTPA} 的增大, 更多的功率会分配给信道增益更低的用户。

3.4 吞吐量计算

假设传输过程中基站的消耗功率为 P_T (单位: W), 基站消耗功率可以分解为两部分, 一部分是功率放大器的消耗功率, 另一部分是电路损耗功率。假设以 R (单位: bit/s) 的速率传输数据, 传输时间为 T (单位: s)。结合式 (10):

$$R_{1,t1} = B \ln(1 + \alpha_n P H_1) \quad (22)$$

$$R_{2,t1} = B \ln \left(1 + \frac{(1 - \alpha_n) P H_2}{1 + \alpha_n P H_2} \right) \quad (23)$$

$$\alpha_n = \frac{H_1^{-\alpha_{\text{FTPA}}}}{H_1^{-\alpha_{\text{FTPA}}} + H_2^{-\alpha_{\text{FTPA}}}} \quad (24)$$

$$R_{1,t2} = B \ln(1 + \beta_n P H_1) \quad (25)$$

$$R_{3,t2} = B \ln \left(1 + \frac{(1 - \beta_n) P H_3}{1 + \beta_n P H_3} \right) \quad (26)$$

$$\beta_n = \frac{H_1^{-\alpha_{\text{FTPA}}}}{H_1^{-\alpha_{\text{FTPA}}} + H_3^{-\alpha_{\text{FTPA}}}} \quad (27)$$

同时满足如下关系:

$$\text{s.t.} \quad R_{1,t1} \geq R_{\text{min}} \quad (28)$$



$$R_{2,t1} \geq R_{\min} \quad (29)$$

$$R_{1,t2} \geq R_{\min} \quad (30)$$

$$R_{3,t2} \geq R_{\min} \quad (31)$$

B 为所在子信道带宽, P 为子信道上的发射功率。 α_n 、 β_n 分别为采用 FTPA 法获得的功率分配系数。

在本文的 TS-NOMA 下, 传输比特数可以看成两部分的组合, $t1$ 时间段内传输的比特数和 $t2$ 时间段内传输的比特数总和。在两个时隙 $t1$ 和 $t2$ 中, TS-NOMA 都充分利用了所有的子信道资源, 从而有效地提高了系统的吞吐量。

4 仿真和性能分析

4.1 仿真参数

仿真参数设置见表 1。假设某小区内基站的覆盖范围是 500 m, 小区用户随机均匀分布。子信道带宽为 1 MHz, 传输时间为 1 s, 分成两个时隙分别为 0.5 s、0.5 s。信道模型基于瑞利衰落, 时延扩展为 1 μ s, 最大多普勒频移为 50 Hz。噪声的功率谱密度为 -174 dBm/Hz。FTPA 功率分配因子为 0.4。

表 1 仿真参数设置

参数	数值
小区半径	500 m
噪声功率谱密度	-174 dBm/Hz
t	1 s
$t1$	0.5 s
$t2$	0.5 s
子信道带宽 BW	1 MHz
时延扩展	1 μ s
最大多普勒频移	50 Hz
FTPA 功率分配因子	0.4
信道模型	瑞利衰落信道
信道估计	Ideal

4.2 仿真结果与分析

图 2 展示了 TS-NOMA、C-NOMA 和 OFDMA

3 种情况下子信道发射功率和单位时间 (1 s) 内传输比特数的关系。此时, 假设子信道带宽 B 固定。在 TS-NOMA 的情况下, $t1$ 时间段内用户 1 和用户 2 分为一组, $t2$ 时间段内用户 1 和用户 3 分为一组。C-NOMA1 和 C-NOMA2 是 C-NOMA 的两种子情形。其中, 在 C-NOMA1 的情况下, 用户 1 和用户 2 采用 NOMA 技术, 用户 3 采用 OFDMA 技术。在 C-NOMA2 的情况下, 用户 1 和用户 3 采用 NOMA 技术, 用户 2 采用 OFDMA 技术。而在 OFDMA 的情况下, 用户 1、用户 2 和用户 3 均采用 OFDMA 技术。由图 2 可知, TS-NOMA 在吞吐量方面比 C-NOMA 和 OFDMA 有所提高。在 OFDMA 中, 用户的传输速率定义为:

$$R = f \log_2 \left(1 + \frac{p|h|^2}{fN_0} \right) \quad (32)$$

其中, f 是用户的信道带宽, p 是用户信号功率, h 是信道增益, N_0 是噪声功率谱密度。

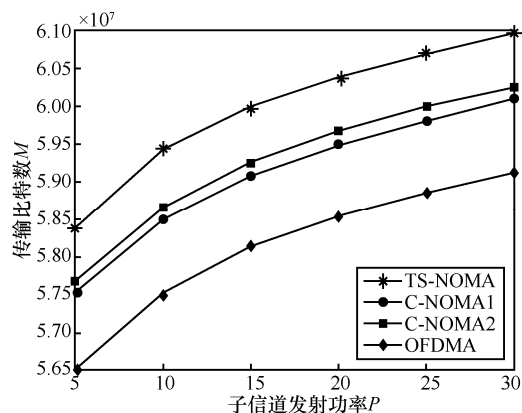


图 2 子信道发射功率与单位时间内传输比特数的关系

OFDMA 技术采用一个用户独享整个时频资源单元的策略^[15], 而 NOMA 区别于先前的资源划分, 提出了功率域复用概念, 多用户通过相关算法实现功率域复用, 相比 OFDMA 在时频资源单元上能承载更多用户。在 C-NOMA 中, 用户 1 和用户 2 或用户 3 中的任一个配对为一组, 但剩下的一个用户仍使用 OFDMA 进行信

号传输。而在 TS-NOMA 中,通过时隙的间隔,在不同的时隙内实现不同用户分组配对,同时充分利用了整个子信道资源,从而提高了系统的吞吐量。

图 3 展示了 TS-NOMA、C-NOMA 和 OFDMA 3 种情况下子信道带宽和单位时间 (1 s) 内传输比特数的关系。此时,假设子信道发射功率 P 固定。具体分组方式和功率分配同上。由图 3 可知,此时 TS-NOMA 在吞吐量方面仍优于 C-NOMA 和 OFDMA。其原因同上。

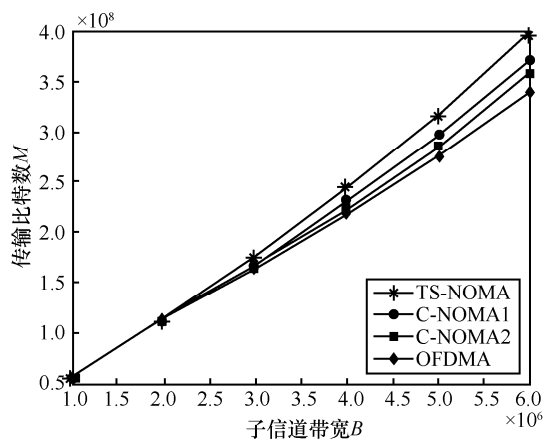


图 3 子信道带宽与单位时间内传输比特数的关系

图 4 综合考虑不同子信道发射功率和单位时间内传输比特数的关系以及不同子信道带宽和单位时间内传输比特数的关系,本文提出的方法能实现系统吞吐量的优化。

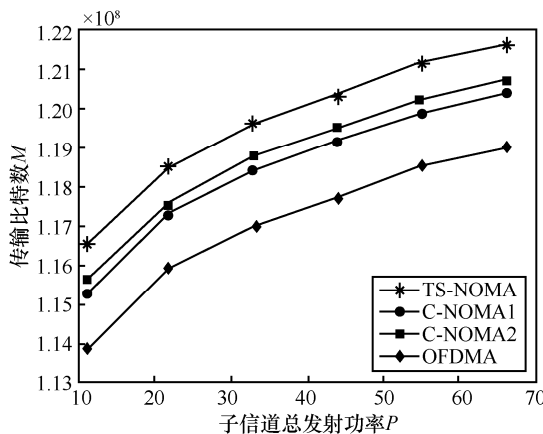


图 4 系统总发射功率和单位时间内系统总传输比特数关系

5 结束语

本文研究以系统吞吐量优化为目标的多载波多用户 NOMA 系统下行链路的资源分配问题。提出方案综合利用用户分组方法、功率分配方式以及干扰消除技术,同时引入了时分的概念。为提高系统吞吐量,本文子载波间功率分配采用线性注水算法,而叠加用户间采取分数阶功率分配算法。子载波上,采用时分的概念,将整个时间段 t 分为两个时隙,在不同时隙内实现不同远近用户分组的动态配对,在时频资源单位承载多用户的基础上,充分利用所有的子信道资源,实现了系统吞吐量的优化。仿真结果表明,对比传统 NOMA 和 OFDMA,该方法可以在相同发射功率情况下传输更多的比特数。

参考文献:

- [1] MODI H, GOHIL A, PATEL S K. 5G technology of mobile communication: a survey[C]//2013 International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP), March 1-2, 2013, Gujarat, India. Piscataway: IEEE Press, 2013.
- [2] CHIH-LIN I, ROWELL C, HAN S, et al. Toward green and soft: a 5G perspective[J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(2): 66-73.
- [3] YUAN Y, ZHAO X. 5G: vision, scenarios and enabling technologies[J]. ZTE Communications, 2015(1): 3-10.
- [4] DAI X, ZHANG Z, BAI B, et al. Pattern division multiple access: a new multiple access technology for 5G[J]. IEEE Wireless Communications, 2018, 25(2): 54-60.
- [5] WANG Q Y, XIE P R, XIONG S K, et al. Key technology and standardization progress for 5G[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(11): 112.
- [6] QI B, LIN L, SHAN Y, et al. Non-orthogonal multiple access technology for 5G systems[J]. Telecommunications Science, 2015.
- [7] LI M L. Performance analysis and optimization of cooperative spectrum sensing with relay[J]. Journal on Communications, 2013, 32(2): 53-60.
- [8] DING Z, FAN P, POOR H V. Random beamforming in millimeter-wave NOMA networks[J]. IEEE Access, 2016, 5(99): 7667-7681.
- [9] NAIN G, DAS S S, CHATTERJEE A. Low complexity user selection with optimal power allocation in downlink NOMA[J].



- IEEE Wireless Communications Letters, 2017: 1.
- [10] BENJEBBOUR A, LI A, SAITO Y, et al. System-level performance of downlink NOMA for future LTE enhancement[C]//GLOBECOM Workshops, December 9-13, 2013, Atlanta, GA, USA. Piscataway: IEEE Press, 2014.
- [11] DONG-MEI Z. Linear water-filling power allocation algorithm in OFDMA system[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2007, 29(6): 1286-1289.
- [12] SAITO K, BENJEBBOUR A, KISHIYAMA Y, et al. Performance and design of SIC receiver for downlink NOMA with open-loop SU-MIMO[C]//IEEE International Conference on communication Workshop, June 8-12, 2015, London, UK. Piscataway: IEEE Press, 2015.
- [13] BENJEBBOUR A, SAITO Y, KISHIYAMA Y, et al. Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access[C]//2013 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS), November 12-15, 2013, Naha, Japan. Piscataway: IEEE Press, 2013.
- [14] CHANG Z, HOU X, GUO X, et al. Energy efficient resource allocation for secure OFDMA relay systems with eavesdropper[C]//IEEE International Conference on Communications, May 22-27, 2016, Kuala Lumpur, Malaysia. Piscataway: IEEE Press, 2016.
- [15] ZHANG X, CHEN H, JIANG L, et al. Inter-cell interference coordination based on softer frequency reuse in OFDMA cellular systems[C]//International Conference on Neural Networks & Signal Processing, June 7-11, 2008, Nanjing, China. Piscataway: IEEE Press, 2008.

[作者简介]



严杰 (1995-), 男, 南京邮电大学通信与信息工程学院硕士生, 主要研究方向为移动通信与无线技术。



宋荣方 (1964-), 男, 南京邮电大学江苏省通信与网络技术工程研究中心教授、博士生导师, 主要研究方向为宽带无线通信。