



基于比例速率约束的 OFDMA-DF 中继系统上行链路资源分配算法^{*}

赵翠茹, 李有明, 陈 斌, 邹 婷, 刘小青

(宁波大学通信技术研究 所 宁波 315211)

摘 要: 针对正交频分多址接入解码转发(OFDMA-DF)中继上行链路通信系统, 提出了一种基于比例速率公平约束的资源分配算法。新算法主要分为两个步骤: 首先在假定平均功率分配下, 按照速率约束比越小的用户越优先选择子载波和中继这一准则进行载波分配和中继选择; 然后在此基础上进行子载波上的优化功率分配, 并给出了功率分配结果。分析结果显示, 新算法在获得较高系统容量的同时能很好地保证用户之间的公平性。

关键词: 正交频分多址接入; 中继; 解码转发; 比例速率约束; 资源分配

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.04.018

Resource Allocation Algorithm in Uplink OFDMA-Based Decode-and-Forward Relay Systems with Proportional Rate Constraints

Zhao Cuiru, Li Youming, Chen Bin, Zou Ting, Liu Xiaoqing

(Institute of Communication Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: For orthogonal frequency division multiple access-based decode-and-forward (OFDMA-DF) relay uplinks communication system, a new algorithm with proportional fairness constraints of users' rate was presented. The new algorithm was divided into two steps. Firstly, under equal power distribution, the user with the lowest proportional capacity had the option to pick which subcarrier and relay to use. Then, based on this basis, power allocation was optimized on subcarriers and the power allocation results were given. Analysis results demonstrate that the new algorithm can not only obtain high system capacity, but also guarantee fairness between users.

Key words: OFDMA, relay, decode-and-forward, proportional rate constraint, resource allocation

1 引言

在传统的正交频分复用多址接入(orthogonal frequency division multiple access, OFDMA)蜂窝系统中引入中继可以扩大系统的覆盖范围、改善小区边缘用户的性

能、提高频谱利用率以及提供高速传输能力, 所以基于 OFDMA 中继系统的相关问题成为了近年来无线通信领域的研究热点。

OFDMA 中继系统中合理有效的资源分配是系统优越性的重要保证。参考文献[1]从信息论的角度考虑了协作

^{*} 国家自然科学基金资助项目(No.60772126, No. 61071119), 浙江省自然科学基金资助项目(No.Y1091155, No.Y1110657), 浙江省科技厅科研项目(No.2009C34001), 宁波市自然科学基金资助项目(No.2012A610017)



中继 OFDMA 系统中的资源分配问题。参考文献[2]提出了协作系统中资源分配的一个基本框架和算法。针对不同业务类型的用户有不同的传输速率需求,参考文献[3~5]提出了保证用户最低速率要求的资源分配算法。参考文献[6]提出了一种含有公平性的约束资源分配算法,通过为各用户分配相同的最少子载波数目来满足用户间的公平性。然而,上述工作都没有考虑用户速率的比例公平性问题。参考文献[7]针对 OFDMA 系统中基于用户速率比例约束的资源分配问题,提出了一种次优资源分配算法,使得用户速率满足比例约束条件的同时最大化系统容量。然而,在 OFDMA 中继系统中进行资源分配时,不仅要考虑与传统 OFDMA 系统类似的子载波分配和功率分配,还要考虑为每个子载波的数据传输选择最优的传输方式(直传或中继传输)以及中继传输时的最佳中继节点选择,而上述算法很难应用到 OFDMA 中继系统中。针对 OFDMA 中继系统中基于比例公平的资源分配问题,参考文献[8]提出了资源分配的联合优化算法,但该算法仅考虑只有中继用户(边缘用户)存在的情形下的资源分配。

针对上述提到的问题,本文提出了一种综合考虑用户速率成比例性公平与系统总容量的资源分配算法。该算法首先在功率平均分配的情况下,按照速率约束比越小的用户越优先选择子载波和中继这一准则为各直传用户和中继用户进行载波分配和中继选择;然后在此基础上,先求出第二时隙中各个子载波上的功率分配结果,进而推导出第一时隙中各个子载波上的功率分配结果。

2 系统模型

考虑如图 1 所示的 OFDMA-DF 中继上行链路通信系统模型,假设各链路的信道状态信息完全已知,位于小区内径以内的用户能与基站直接通信,称为直传用户;位于小区内径外与外径之间的用户需要通过中继的协作与基站进行通信,称为中继用户。系统中包括 (M_0+M_1) 个用户,其中 M_0 个直传用户和 M_1 个中继用户,一个基站(BS), K 个中继(RS),总带宽被划分成 N 个正交子载波且总可用带宽为 W 。中继采用解码转发方式,信息传输由如图 2 所示的两个时隙完成:第一时隙,中继用户向中继发送信息;第二时隙,中继将接收到的信息解码转发给基站,与此同时直传用户向基站发送信息。

假设直传用户 i 与基站、中继用户 j 与中继 k 、中继 k 与基站的信道系数分别为 $h_{s,i,n}$ 、 $h_{j,k,n}$ 、 $h_{s,M_0+k,n}$, 与之相应的

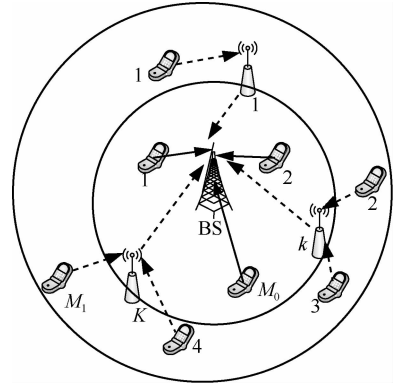


图 1 OFDMA-DF 中继上行链路通信系统模型

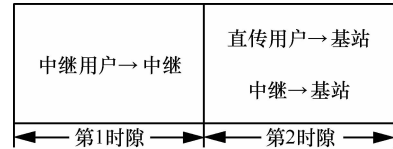


图 2 信息传输示意

发送功率为 $p_{s,i,n}$ 、 $p_{j,k,n}$ 、 $p_{s,M_0+k,n}$, 相应的路径损耗为 $l_{s,i}$ 、 $l_{j,k}$ 、 l_{s,M_0+k} , 则直传用户 i 在子载波 n 上的瞬时速率为:

$$R_{i,n} = \text{lb} \left(1 + \frac{p_{s,i,n} l_{s,i} |h_{s,i,n}|^2}{\Gamma W N_0 / N} \right) \quad (1)$$

中继用户 j 和中继 k 组合在子载波 n 上的瞬时速率为:

$$R_{j,k,n} = \frac{1}{2} \min \left\{ \text{lb} \left(1 + \frac{p_{j,k,n} l_{j,k} |h_{j,k,n}|^2}{\Gamma W N_0 / N} \right), \text{lb} \left(1 + \frac{p_{s,M_0+k,n} l_{s,M_0+k} |h_{s,M_0+k,n}|^2}{\Gamma W N_0 / N} \right) \right\} \quad (2)$$

其中, N_0 为噪声功率谱密度, Γ 为信噪比差额, 它与误比特率(BER)的关系为: $\Gamma = -\ln(5BER)/1.5$ 。为便于分析, 记 $H_{s,i,n} = \frac{|h_{s,i,n}|^2}{\Gamma W N_0 / N}$ 、 $H_{j,k,n} = \frac{|h_{j,k,n}|^2}{\Gamma W N_0 / N}$ 、 $H_{s,M_0+k,n} = \frac{|h_{s,M_0+k,n}|^2}{\Gamma W N_0 / N}$ 分别为直传用户 i 与基站、中继用户 j 与中继 k 、中继 k 与基站的信道增益。

考虑在给定发送功率和误比特率前提下, 基于用户速率成比例约束的资源优化问题为:

$$\max \left[\sum_{i=1}^{M_0} \sum_{n=1}^N \rho_{i,n} R_{i,n} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=M_0+1}^M \sum_{n=1}^N \delta_{j,k,n} R_{j,k,n} \right] \quad (3)$$

subject to:

$$A1: \rho_{i,n} \in \{0, 1\}; \delta_{j,k,n} \in \{0, 1\}$$

$$A2: \sum_{i=1}^{M_0} \rho_{i,n} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=M_0+1}^M \delta_{j,k,n} = 1$$

$$A3: \sum_{j=M_0+1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \delta_{j,k,n} p_{j,k,n} \leq P_{T_1}$$

$$A4: \sum_{n=1}^N \left(\sum_{i=1}^{M_0} \rho_{i,n} p_{s,i,n} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=M_0+1}^M \delta_{j,k,n} p_{s,M_0+k,n} \right) \leq P_{T_2}$$

$$A5: R_1 : R_2 : \dots : R_M = \gamma_1 : \gamma_2 : \dots : \gamma_M$$

其中, $\rho_{i,n}$ 为子载波分配因子, $\rho_{i,n}=1$ 表示子载波 n 被直传用户 i 占用, 否则表示该子载波 n 未被直传用户 i 占用; $\delta_{j,k,n}$ 为子载波中继分配因子, $\delta_{j,k,n}=1$ 表示子载波 n 和中继 k 被中继用户 j 占用, 否则就表示子载波 n 和中继 k 未被中继用户 j 占用。A1, A2 表示每一子载波最多只能被一个用户占用, A3 表示在第一时隙中继用户总发送功率约束, A4 表示在第二时隙直传用户和中继总发送功率约束, A5 为各用户速率成比例约束, 它反映了无线通信系统中不同业务对速率的不同需求。

3 资源优化分配

3.1 子载波分配和中继选择

优化模型(3)涉及子载波分配、中继选择和功率分配的联合优化问题, 要获得最优解需要很高的复杂度。因此, 本文所提新算法采取分步资源优化分配方法, 首先进行子载波分配和中继选择, 然后在此基础上进行子载波上的优化功率分配。

为保证用户速率间的比例公平性, 确定用户初始应分配的子载波数目并按照速率约束比越小的用户越优先选择子载波和中继这一准则进行初始子载波分配和中继选择。本文根据中继用户通过中继向基站发送信息需要两个时隙, 将比例约束条件 A5 松弛为:

$$N_1 : N_2 : \dots : N_{M_0} : N_{M_0+1} : \dots : N_M = \gamma_1 : \gamma_2 : \dots : 2\gamma_{M_0} : 2\gamma_{M_0+1} : \dots : 2\gamma_M \quad (4)$$

根据式(4)确定用户初始应分配的子载波数目为:

$$N_i = \left\lfloor \gamma_i N / \left(\sum_{i=1}^{M_0} \gamma_i + 2 \sum_{i=M_0+1}^M \gamma_i \right) \right\rfloor, i \leq M_0;$$

$$N_i = \left\lfloor 2\gamma_i N / \left(\sum_{i=1}^{M_0} \gamma_i + 2 \sum_{i=M_0+1}^M \gamma_i \right) \right\rfloor, M_0+1 \leq i \leq M$$

接下来找出速率约束比最小的用户, 记为用户 i , 该用户优先选择子载波和中继。若 i 为中继用户, 找出中继链路的等效信道增益, 并按照等效信道增益最大准则为用户分配子载波和选择中继; 若为直传用户, 按照信道增益最大准则为用户 i 分配子载波。

为最大化系统总容量, 最优功率分配应满足^[9]:

$$p_{j,k,n} l_{j,k} H_{j,k,n} = p_{s,M_0+k,n} l_{s,M_0+k,n} H_{s,M_0+k,n} \quad (5)$$

可得到中继链路的等效信道增益为:

$$H_{r(j,k,n)}^{\text{equ}} = \frac{l_{s,M_0+k,n} H_{s,M_0+k,n} l_{j,k,n} H_{j,k,n}}{l_{s,M_0+k,n} H_{s,M_0+k,n} + l_{j,k,n} H_{j,k,n}} \quad (6)$$

新算法的子载波分配和中继选择的具体步骤如下。

(1) 为各用户分配初始应分配的子载波数目。找出用户 i 满足 $\arg \min_{i \in \Omega_M} (R_i / \gamma_i)$, Ω_M 为用户集合, 若 i 为中继用户, 执行步骤(2)为该用户分配子载波和选择合适的中继; 若 i 为直传用户, 执行步骤(3)为该用户分配子载波。

(2) 为中继用户分配一个最好的子载波和选择最佳的中继。对于中继用户 i , 找出子载波 n 和中继 k 满足 $|H_{r(i,k,n)}^{\text{equ}}| \geq |H_{r(i,k,n')}^{\text{equ}}|, n \in \Omega_N, k \in \Omega_K, \Omega_K$ 为中继集合。

(3) 为各直传用户分配一个最优子载波。对于直传用户 i , 找出 n 满足 $|H_{s,i,n}| \geq |H_{s,i,n'}|, n \in \Omega_N, \Omega_N$ 为子载波集合。

(4) 剩余子载波分配。将剩余子载波按照信道增益最大化的原则分配给相应的用户, 以最大化系统容量。

3.2 优化功率分配

在只考虑第二时隙的功率分配时, 优化问题可简化为:

$$\max_{p_{s,i,n}} \left[\sum_{i=1}^{M_0} \sum_{n \in C_i} \ln(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) + \sum_{i=M_0+1}^{M_0+K} \sum_{n \in C_i} \frac{1}{2} \ln(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) \right] \quad (7)$$

subject to:

$$B1: \sum_{i=1}^{M_0+K} \sum_{n=1}^N p_{s,i,n} \leq P_{T_2}$$

$$B2: R_1 : R_2 : \dots : R_{M_0+K} = \gamma_1 : \gamma_2 : \dots : \gamma_{M_0+K}$$

构造相关的拉格朗日方程如下:

$$L(p_{s,i,n}, \beta, \mu_i) = \sum_{i=1}^{M_0} \sum_{n \in C_i} \ln(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) + \sum_{i=M_0+1}^{M_0+K} \sum_{n \in C_i} \frac{1}{2} \ln(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) + \beta \left(\sum_{i=1}^{M_0+K} \sum_{n=1}^N p_{s,i,n} - P_{T_2} \right) + \sum_{i=2}^{M_0} \mu_i \left[\sum_{n \in C_i} \ln(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) - \frac{\gamma_i}{\gamma_1} \sum_{n \in C_i} \ln(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) \right] + \sum_{i=M_0+1}^{M_0+K} \mu_i \left[\sum_{n \in C_i} \ln(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) - \frac{\gamma_i}{\gamma_1} \sum_{n \in C_i} \frac{1}{2} \ln(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) \right] \quad (8)$$



在式(8)中对 $p_{s,i,n}$ 进行求导,并令其为0,则可以得出:

$$\begin{cases} \frac{\partial L(p_{s,i,n}, \beta, \mu_i)}{\partial p_{s,i,n}} = \frac{l_{s,i} H_{s,i,n}}{(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) \ln 2} + \\ \beta - \mu_i \frac{\gamma_i}{\gamma_i} \frac{l_{s,i} H_{s,i,n}}{(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) \ln 2} = 0, i \text{ 为直传用户} \\ \frac{\partial L(p_{s,i,n}, \beta, \mu_i)}{\partial p_{s,i,n}} = \frac{l_{s,i} H_{s,i,n}}{(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) 2 \ln 2} + \\ \beta - \mu_i \frac{\gamma_i}{\gamma_i} \frac{l_{s,i} H_{s,i,n}}{(1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}) 2 \ln 2} = 0, i \text{ 为中继用户} \end{cases} \quad (9)$$

由式(9)可得到:

$$\frac{l_{s,i} H_{s,i,n}}{1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}} = \frac{l_{s,i} H_{s,i,n}}{1 + p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n}} \quad (10)$$

由式(10)可推出:

$$p_{s,i,n} = p_{s,i,1} + \frac{1}{l_{s,i} H_{s,i,1}} - \frac{1}{l_{s,i} H_{s,i,n}} \quad (11)$$

故可得到:

$$R_i = \begin{cases} N_i \ln \left(p_{s,i,1} l_{s,i} + \frac{1}{H_{s,i,1}} \right) + \sum_{n \in C_i} \ln H_{s,i,n}, \\ i \leq M_0 \\ \frac{1}{2} \left[N_i \ln \left(p_{s,i,1} l_{s,i} + \frac{1}{H_{s,i,1}} \right) + \sum_{n \in C_i} \ln H_{s,i,n} \right], \\ M_0 + 1 \leq i \leq M_0 + K \end{cases} \quad (12)$$

速率成比例约束,即:

$$\frac{R_1}{R_i} = \frac{r_1}{r_i} \quad (13)$$

联合式(12)、式(13)推出:

$$\begin{cases} \left(p_{s,1,1} l_{s,1} + \frac{1}{H_{s,1,1}} \right)^{\gamma_i N_i} \times 2^{\left(\gamma_i \sum_{n \in C_1} \ln H_{s,1,n} - \gamma_i \sum_{n \in C_i} \ln H_{s,i,n} \right)} = \\ \left(p_{s,i,1} l_{s,i} + \frac{1}{H_{s,i,1}} \right)^{\gamma_i N_i} \\ \left(p_{s,1,1} l_{s,1} + \frac{1}{H_{s,1,1}} \right)^{\gamma_i N_i} \times 2^{\left(\gamma_i \sum_{n \in C_1} \ln H_{s,1,n} - \frac{\gamma_i}{2} \sum_{n \in C_i} \ln H_{s,i,n} \right)} = \\ \left(p_{s,i,1} l_{s,i} + \frac{1}{H_{s,i,1}} \right)^{\frac{\gamma_i N_i}{2}} \end{cases} \quad (14)$$

根据式(14)得到:

$$p_{s,i,1} = a_i \frac{l_{s,1}}{l_{s,i}} p_{s,1,1} + b_i \quad (15)$$

$$\text{其中, } a_i = 2^{\frac{N_i W_i - N_i W_i}{N_i N_i}}, b_i = \frac{a_i}{l_{s,i} H_{s,i,1}} - \frac{1}{l_{s,i} H_{s,i,1}}.$$

所以:

$$p_{s,1,1} = \frac{P_{T_2} - \sum_{i=1}^{M_0+K} (N_i b_i + e_i)}{\sum_{i=1}^{M_0+K} N_i a_i l_{s,i} / l_{s,i}} \quad (16)$$

$$\text{其中, } e_i = \sum_{n \in C_i} \frac{H_{s,i,n} - H_{s,i,1}}{L_{s,i} H_{s,i,n} H_{s,i,1}}.$$

将式(16)代入式(11),可推出:

$$p_{s,i,n} = a_i l_{s,1} p_{s,1,1} / l_{s,i} + b_i + \frac{1}{l_{s,i} H_{s,i,1}} - \frac{1}{l_{s,i} H_{s,i,n}} \quad (17)$$

当 $M_0+1 \leq i \leq M_0+K$ 时,将式(17)代入式(5),可得到第一时隙各链路子载波上的功率分配为: $p_{j,k,n} = p_{s,i,n} l_{s,i} H_{s,i,n} / l_{j,k} H_{j,k,n}$.

4 仿真结果与分析

仿真环境选择 OFDMA 多中继上行链路通信系统,仿真信道采用 6 径频率选择性瑞利衰落信道,用户的大尺度路径损耗基于修正的 Cost231-Hata 传输模型。仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数

参数	取值
最大多普勒频移	30 Hz
小区内半径	0.6 km
小区外半径	1 km
传输带宽 W	1 MHz
中继数 K	3
用户数 M	$8(M_0=4, M_1=4)$
第 1 时隙总发送功率	46 dBm
第 2 时隙总发送功率	46 dBm
路径损耗传输模型	中继用户—中继: $128.1+37.6 \lg d$ 直传用户—基站: $128.1+28.8 \lg d$ 中继—基站: $128.1+28.8 \lg d$
目标误比特率	10^{-3}

通过数值仿真比较本文所提算法、PSARA+EquPo 算法、Static+PPA 算法和 PSARA+MS-based Waterfilling 算法的性能。下面为 4 种算法的基本介绍。

(1) 所提算法

本文提出的新算法按照提出的子载波分配中继选择、功率分配方法进行资源分配。

(2) PSARA+EquPo 算法

按照提出的子载波分配和中继选择方法进行分配和选择,功率采用平均功率分配方法。

(3) Static+PPA 算法

按照静态分配准则为各用户分配固定的子载波数目,按照距离最近原则进行中继选择,功率采用提出的优化功率分配方法。

(4) PSARA+MS-based Waterfilling 算法

按照提出的子载波分配和中继选择方法进行分配和选择,功率采用基于用户的注水方法,其中,基于用户的注水方法(MS-based Waterfilling)^[6]是先确定各用户的功率:用户的功率与其分配的子载波数目成正比;然后确定各子载波功率:在各用户分配的子载波间按照注水原理进行子载波上的功率分配。

图 3 所示为子载波数为 512 时,4 种算法系统总容量随用户数的变化关系。由于多用户分集的作用,4 种算法的系统总容量随着用户数的增加而增加。新算法自适应地为各用户分配子载波以及为中继用户选择中继,是一种动态的资源分配方法,所以算法的系统总容量明显高于 Static+PPA 算法;新算法在功率分配的过程中也重点考虑了用户速率比例公平约束,势必会影响系统总容量,所以算法的系统总容量略低于 PSARA+EquPo 算法、PSARA+MS-based Waterfilling 算法。

图 4 和图 5 分别是子载波数为 512 和 1 024 时,4 种算法各用户归一化容量与用户速率比例约束条件的关

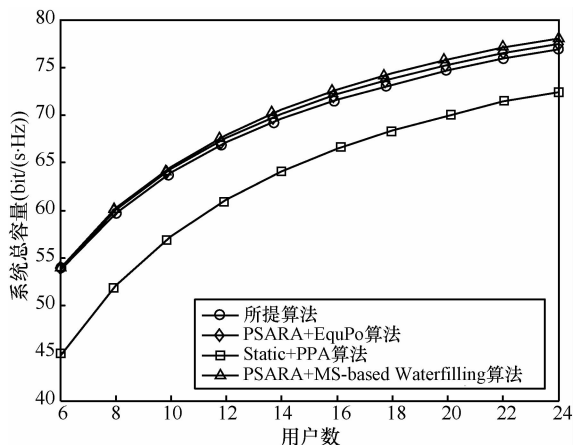


图 3 系统总容量随用户数的变化关系

系,反映了用户间公平性方面的性能,其中 proportional fairness 为设定的用户速率比例公平约束条件。从图 4 和图 5 中可以看出,Static+PPA 算法只能使个别用户归一化容量接近设定的用户速率比例约束条件,其用户公平性能较差,不能满足所有用户的业务需求。新算法各用户归一化容量能很好逼近设定的用户速率比例约束条件,其余两种算法归一化容量也能接近设定的用户速率比例约束条件,为能更好地体现新算法、PSARA+EquPo 算法、PSARA+MS-based Waterfilling 算法用户间公平性方面的优劣性,又考虑了子载波数为 512 和 1 024 时的公平性指数与用户数的关系,如图 6 和图 7 所示。图 6 和图 7 表明了新算法的用户公平性高于 PSARA+EquPo 算法、PSARA+MS-based Waterfilling 算法,这是因为新算法在子载波分配和功率分配过程都考虑了用户速率比例公平约束,从整体上提高了用户间公平性。由于随着系统中用户数的增加,用户间比例公平性的可调整性难度也随之增加,所以用户公平性会稍有降低。图 4 和图 5,图 6 与图 7 的比较显示,

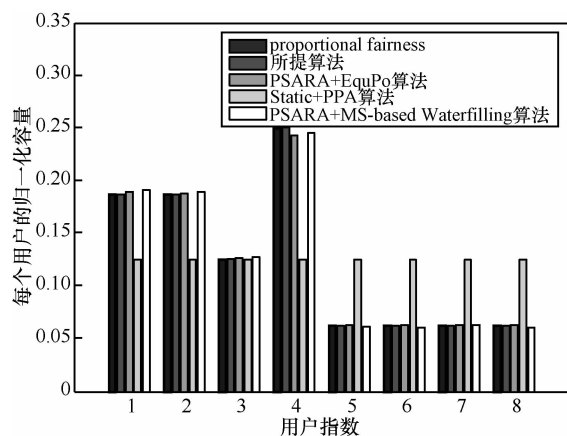


图 4 归一化容量比较(子载波数为 512)

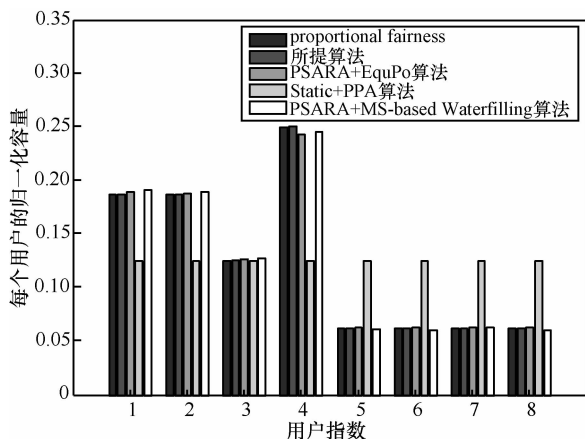


图 5 归一化容量比较(子载波数为 1 024)

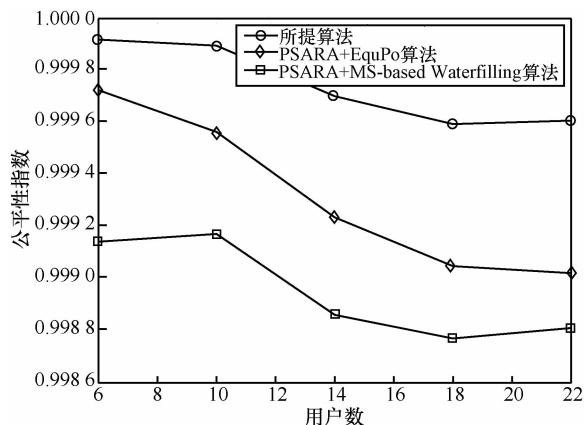


图6 公平性指数与用户数的关系(子载波数为512)

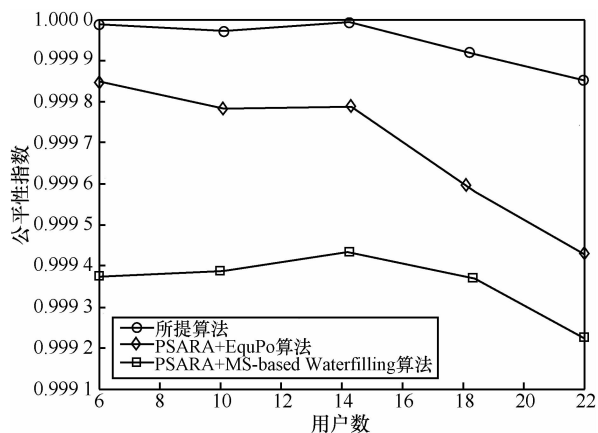


图7 公平性指数与用户数的关系(子载波数为1024)

随着系统子载波数目的增加,用户间的公平性能随之提高。

5 结束语

本文针对用户速率成比例公平约束下 OFDMA-DF 中继上行链路系统的资源分配问题,给出了一种次优资源分配策略。首先在假定平均功率分配下,按照信道增益最大和最小用户速率最大化准则进行子载波分配和中继选择;然后在此基础上,先求出第二时隙中各个子载波上的功率分配结果,进而推导出第一时隙中各个子载波上的功率分配结果。分析结果显示,提出的算法在获得较高系统容量的同时,能很好地保证用户之间的公平性。

参考文献

- 1 Liang Y B, Veeravalli V V. Gaussian orthogonal relay channels: optimal resource allocation and capacity. IEEE Transactions on Information Theory, 2005, 51(9):3284~3289
- 2 Chiu-Yam N T, Wei Y. Joint optimization of relays strategies and resource allocations in cooperative cellular networks. IEEE Journal

on Selected Areas in Communications, 2007, 25(2): 328~339

- 3 Salah A A, Ali B M, Saper A, *et al.* An efficient resource allocation algorithm for OFDMA cooperative relay networks with fairness and QoS guaranteed. The Second International Conference on Network Applications, Kedah, 2010: 188~192
- 4 Shim W, Han Y G, Kim S. Fairness-aware resource allocation in a cooperative OFDMA uplink system. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(2): 932~939
- 5 Zhang D H, Wang Y Z, Lu J H. QoS Aware Relay Selection and Subcarrier Allocation in Cooperative OFDMA Systems. IEEE Communications Letters, 2010, 14(4): 294~296
- 6 You L, Song M, Song J D. Uplink resource allocation in OFDMA relay-assisted cellular network with fairness. IET Conference on Mobile and Sensor Networks, Shanghai, China, 2007: 24~27
- 7 Shen Z K, Andrews J G, Evans B L. Adaptive resource allocation in multiuser OFDM systems with proportional rate constraints. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2005, 14(6): 2726~2737
- 8 Liu C, Qin X W, Zhang S H, *et al.* Proportional-fair downlink resource allocation in OFDMA-based relay networks. Journal of Communications and Networks, 2011, 13(6): 633~638
- 9 Tang Z H, Wei G. Resource allocation with fairness consideration in OFDMA-based relay networks. Proceedings of Wireless Communication and Networking Conference, Budapest, Hungary, 2009: 1~5

[作者简介]



赵翠茹,女,宁波大学硕士研究生,主要研究方向为 TD-LTE 中继通信中资源分配等。

李有明,男,宁波大学通信技术研究所博士生导师、教授,主要研究方向为无线和有线宽带通信技术中的干扰抑制、动态资源分配、MIMO-OFDM、协作中继、认知无线电等。

陈斌,男,宁波大学硕士研究生,主要研究方向为协作中继中的资源分配等。

邹婷,女,宁波大学硕士研究生,主要研究方向为电力线通信中的资源分配等。

刘小青,男,宁波大学硕士研究生,主要研究方向为智能电网等。

(收稿日期:2013-01-24)