

DF 协作中继网络基于买者/卖者博弈的中继选择和功率分配策略

柯峰^① 冯穗力^① 胡洁^{①②} 庄宏成^③

^①(华南理工大学电子与信息学院 广州 510640)

^②(华南农业大学工程学院 广州 510642)

^③(华为技术有限公司预研部 深圳 518100)

摘要: 该文针对采用解码-转发(DF)协议的协作中继网络,提出了一种基于买者-卖者博弈的中继选择和功率分配策略,通过将用户建模为买者,可以以最大效用为标准选择最优中继和确定最佳的购买功率;将中继建模为卖者,可通过先市场后利润的功率价格调整策略获得最大的利润。分析了两者博弈达到平衡的条件并进行了仿真,结果验证了纳什均衡点的存在并表明,该策略计算量少,收敛速度快,实用性强,在兼顾用户和中继节点的利益的同时可以有效提高用户的传输速率,扩大基站的覆盖范围,提高功率利用效率。

关键词: 无线通信; 解码-转发; 中继选择; 功率分配; 博弈论

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2010)08-1920-06

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2009.01316

Relay Selection and Power Allocation Strategy for Decode-and-Forward (DF) Cooperative Relay Network Based on Buyer/Seller Game

Ke Feng^① Feng Sui-li^① Hu Jie^{①②} Zhuang Hong-cheng^③

^①(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

^②(Engineering College, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China)

^③(Pre-research Dept. Huawei Technologies CO. Ltd, Shenzhen 518100, China)

Abstract: In this article, a relay selection and power allocation strategy based on buyer-seller game is proposed for Decode-and-Forward (DF) cooperative relay network. The user is modeled as a buyer which selects the optimal relay and determines the optimal amount of power bought from the relay based on the maximum utility criterion. The relay is modeled as a seller which determines the price of the power using market-first-profit-second strategy to achieve the maximum profit. The equilibrium conditions of the game between the two sides are analyzed. The simulation results verify the existence of the Nash equilibrium point and illustrate the small amount of calculation, the fast convergence and the practicability of the strategy. The results also illustrate that using the strategy may increase the transmission rate of the user, the coverage of the base station and improve the power efficiency taking into account the interests of the user and the relay nodes.

Key words: Wireless communication; Decode-and-Forward (DF); Relay selection; Power allocation; Game theory

1 引言

未来的无线通信网络通过中继的协作传输,可以有效利用无线网络的广播特性,实现空间分集^[1-3],改善通信质量。协作中继网络中的中继选择和在不同中继节点上的功率分配可以极大地影响网络的性能。中继网络的功率控制问题已经研究得很多,只是在优化目的函数上有所不同,比如以功率为约束条件下以最大化速率为目标的文献[4],以

最小化中断概率为目标的文献[5],但没有考虑中继的选择问题。在文献[6]中,Ng等人提出了一个基于OFDMA中继网络的结合中继选择和功率策略选择的功率、带宽联合分配策略,但复杂度过高。

以上采取的都是集中控制策略,在信道是快速时变信道时或者网络节点数目较大时,信令开销繁重,计算结果易出错。文献[7]提出了一个简单的分布式最优中继选择的策略,但建立在假定所有中继都无条件愿意进行协作的基础上。在未来的协作中继网络中,中继节点可能为不同的服务商或个人所提供,具有自私特性,同时对资源的需求具有非均质约束特性,这就使得通过有效激励机制实现节点

2009-10-12 收到, 2010-02-09 改回

粤港科技关键领域突破项目(20060104-2)和广东省自然科学基金博士启动基金(06300097)资助课题

通信作者: 柯峰 fengke@scut.edu.cn

的协作传输成为必然, 以上这些原因推动了博弈论在协作中继网络中的分布式中继选择和功率分配方面的研究, 文献[8]通过定价机制激励中继的协作, 但没有给出选择最优中继和达到博弈均衡点的策略。在文献[9]中, 通过采用两级 Stackelberg 博弈模型对协作中继网络的中继选择和功率分配进行建模, 仿真结果表明算法可收敛到接近集中分配策略性能的水平, 但算法复杂, 信令开销较大, 且只适用于 AF 中继。在文献[10]中, 设计了一个基于拍卖的功率分配框架。提出了 SNR 拍卖和功率拍卖两种拍卖机制, 来分布式决定中继选择和功率分配策略, 验证了单中继网络和多中继网络下纳什均衡点的存在, 但算法收敛较慢, 也只适用于 AF 中继。

本文针对基于解码-转发(Decode-and-Forward, DF)协议的协作中继网络, 提出了一种基于买者/卖者博弈的中继选择和功率分配策略, 一方面将用户建模为买者, 以最大效用为标准选择最优中继和确定最佳的购买功率, 另一方面将中继建模为卖者, 通过先市场后利润的价格策略获得最大的利润, 并分析了两者博弈达到平衡的条件。仿真验证了本文策略纳什均衡点的存在, 并与文献[7]和文献[10]中的策略进行了比较。结果表明, 本文策略计算量小, 收敛速度快, 实用性强, 在兼顾用户和中继节点的利益的同时可以有效提高用户的传输速率, 扩大基站的覆盖范围, 提高功率的利用效率。

2 系统模型

如图 1 所示, 假定基于 DF 协议的协作中继网络由用户节点 S , 基站 D 和 N 个处于不同位置的中继站构成, 定义中继站集合为 $\Omega = \{r(1), r(2), \dots, r(N)\}$ 。在每个数据块传输之前, 用户节点从集合 Ω 选择最合适的中继 r^{opt} 来建立协作通信链路。假定在一次数据块的传输中, 信道保持稳定, 以 X_s 代表用户发送的数据符号, $G_{s,r(k)}, G_{r(k),d}, G_{s,d}$ 分别代表用户与 Ω 中的第 k 个中继之间的(S-R)链路, 第 k 个中继和目的节点之间的(R-D)链路以及用户与目的节点之间的(S-D)链路的信道衰落系数。以 P_s 表示源节点的发送功率, $n_{s,d}, n_{r(k),d}$ 分别表示 S-D 链路和第 k 个 R-D 链路的加性高斯白噪声。不失一般性, 假定所有链路的噪声功率相同, 都为 σ^2 。

假定中继的传输采用时分复用的方式。在第 1 个时隙, 用户向基站发送数据, 同时 Ω 中的中继节点 $r(k)$ 接收到广播的数据块。S-D 链路的信噪比(SNR)为 $\beta_{s,d} = P_s G_{s,d} / \sigma^2$, 第 k 个 S-R 链路的 SNR 满足 $\beta_{s,r(k)} = P_s G_{s,r(k)} / \sigma^2$ 。第 2 个时隙内进行中继选

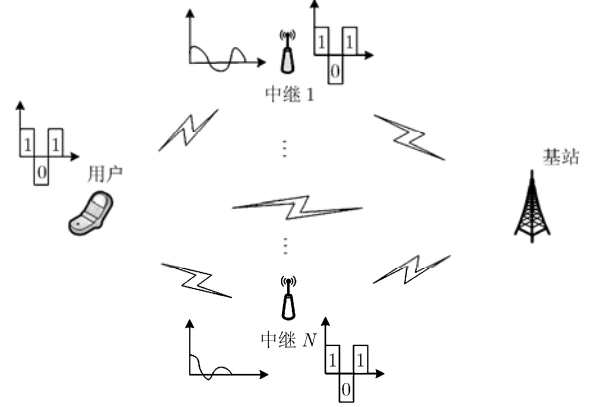


图 1 DF 协作中继网络系统模型

择和功率分配, 用户的信号到达, 假定中继 $r(k)$ 被选择, 对接收到的 $Y_{s,r(k)}$ 信号进行解调和信道解码, 再对估计得到的信号 $X_{r(k)}$ 重新信道编码, 调制后通过第 2 个时隙发送到基站。则第 k 个 R-D 链路的信噪比 $\beta_{r(k),d} = P_{r(k)} G_{r(k),d} / \sigma^2$ 。以 W 代表中继网络的带宽, β 代表 SNR 沟道因子^[11]。基站对接收到的来自用户和中继的信号进行最大比合并(MRC)得到最后的数据。由文献[2]可以知道, 总速率如式(1)所示:

$$R_{s,r(k),d} = \frac{1}{2} W \log_2 \left(1 + \frac{\beta_{s,r(k),d}}{\beta} \right) \quad (1)$$

其中 $\beta_{s,r(k),d} = \min(\beta_{s,r(k)}, \beta_{s,d} + \beta_{r(k),d})$ 。

对于用户来说, 选择中继协作传输的目的是改善 S-D 链路的通信质量。所以下两个问题需要得到解决: 第一, 选择哪个中继节点来帮助 S-D 链路的通信。第二, 在分布式环境下, 如何实现中继有效的功率分配并兼顾用户和中继节点的利益。

为了解决以上的问题, 本文将中继的功率分配建模为用户和中继之间的买者-卖者博弈模型。

3 用户和中继站的买者-卖者博弈

3.1 用户效用函数定义

根据文献[9]中的定义, 建立用户的效用函数如式(2)所示:

$$U_s(y) = F_s(y) - C_s(y) \quad (2)$$

$U_s(y)$ 满足凹函数特性^[9], 其中 $F_s(y)$ 为产值函数, $C_s(y)$ 为成本函数, 定义总的信噪比(SNR)函数 $\gamma(P_{r(k)})$ 如式(3)所示。

$$\gamma(P_{r(k)}) = \frac{\beta_{s,r(k),d}}{\beta} = \xi_{s,d} P_s + \xi_{r(k),d} P_{r(k)}, \quad P_{r(k)}^{\min} \leq P_{r(k)} \leq P_{r(k)}^{\max} \quad (3)$$

其中 $\xi_{s,d} = G_{s,d} / (\sigma^2 \beta)$, $\xi_{r(k),d} = G_{r(k),d} / (\sigma^2 \beta)$ 代表 S-D 链路和第 k 条 R-D 链路每增加单位功率增加的信噪比(SNR)。因为当通信链路信噪比低于一定门

限 β_{th} 时, 目的节点即基站不能解码接收信号, 取 $P_{r(k)}^{\min} = (\beta_{th}\sigma^2 - P_s G_{s,d}) / G_{r(k),d}$ 为保证目的节点正确解码接收信号的中继 $r(k)$ 的最小发射功率, 取 $P_{r(k)}^{\max} = \min(P_s(G_{s,r(k)} - G_{s,d}) / G_{r(k),d}, P_{\max})$ 为中继 $r(k)$ 达到链路的最大信道容量所需的最大发射功率。此外, 定义 $R_{s,d}$ 为不选择中继协作传输时的可达速率。可知

$$R_{s,d} = \begin{cases} W \log_2(1 + \beta_{s,d}/\beta), & \beta_{s,d} \geq \beta_{th} \\ 0, & \beta_{s,d} < \beta_{th} \end{cases} \quad (4)$$

则

$$\begin{aligned} U_s(P_{r(k)}) &= F_s(P_{r(k)}) - C_s(P_{r(k)}) \\ &= g\Delta R_{s,r(k),d}(P_{r(k)}) - C_s(P_{r(k)}) \\ &= g \left[\frac{W}{2} \log_2(1 + \xi_{s,d}P_s + \xi_{r(k),d}P_{r(k)}) - R_{s,d} \right] \\ &\quad - \rho_{r(k)}P_{r(k)} \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $\Delta R_{s,r(k),d}(P_{r(k)})$ 表示选择中继 $r(k)$ 进行协作转发并且中继 $r(k)$ 的功率分配为 $P_{r(k)}$ 时总的可达速率与不选择中继协作转发时可达速率的增加量, g 表示最大比合并(MRC)输出的单位可达速率的收益, g 取值的不同可以影响整个网络的节点的性能, 由于篇幅所限, 放在将来的工作中进一步讨论, 在本文中认为是常数。 $C_s(P_{r(k)}) = \rho_{r(k)}P_{r(k)}$ 代表用户支付给中继 $r(k)$ 的成本, $\rho_{r(k)}$ 代表卖给用户的单位功率的价格。

3.2 中继选择策略

首先假定在用户传输期间, 信道条件保持稳定, 用户可以通过反馈信道知道中继网络的相关信息如 $(W, P_s, P_{\max}, \sigma^2, \beta, \beta_{th})$ 以及信道衰落系数如 $G_{s,d}, G_{s,r(k)}, G_{r(k),d}$ 。选择过程如下, 在数据传输前, 可选集合 $\Omega = \{r(1), r(2), \dots, r(M)\}$ 中的中继报出的卖给用户的单位功率的价格的集合为 $\Lambda = \{\rho_{r(1)}, \rho_{r(2)}, \dots, \rho_{r(M)}\}$ 。用户根据效用最大原则从中选出一个最优中继 r^{opt} , 并根据价格 $\rho_{r^{opt}}$ 决定购买的功率数量 $P_{r^{opt}}^*$ 。

对于 $r(k) \in \Omega$, 假设为了得到最大效用所需购买的功率为 $P_{r(k)}^\#$, 则可以得到

$$P_{r(k)}^\# = \arg \left(\frac{\partial U_s(P_{r(k)})}{\partial P_{r(k)}} = 0 \right) \quad (6)$$

根据中继 $r(k)$ 的报价 $\rho_{r(k)}$, 可知 $P_{r(k)}^\#$ 满足式(7):

$$\frac{\partial U_s(P_{r(k)}^\#)}{\partial P_{r(k)}^\#} = g \frac{\partial \Delta R_{s,r(k),d}^\#}{\partial P_{r(k)}^\#} - \rho_{r(k)} = 0 \quad (7)$$

从式(4), 式(5)可以得到

$$\begin{aligned} \Delta R_{s,r(k),d} &= R_{s,r(k),d}(P_{r(k)}) - R_{s,d} \\ &= \frac{W}{2} \log_2(1 + \xi_{s,d}P_s + \xi_{r(k),d}P_{r(k)}) - R_{s,d} \end{aligned} \quad (8)$$

所以

$$g \frac{\partial \Delta R_{s,r(k),d}^\#}{\partial P_{r(k)}^\#} = \frac{gW\xi_{r(k),d}}{2\ln 2(1 + \xi_{s,d}P_s + \xi_{r(k),d}P_{r(k)}^\#)} = \rho_{r(k)} \quad (9)$$

即

$$P_{r(k)}^\# = \frac{gW}{2\ln 2\rho_{r(k)}} - \frac{1 + \xi_{s,d}P_s}{\xi_{r(k),d}} \quad (10)$$

由上可知, $P_{r(k)}$ 必须落在范围 $[P_{r(k)}^{\min}, P_{r(k)}^{\max}]$ 之内。如果 $P_{r(k)}^{\min} > P_{r(k)}^{\max}$, 则意味着中继 $r(k)$ 不可能被选择, 即 $P_{r(k)}^* = 0$; 如果 $P_{r(k)}^{\min} \leq P_{r(k)}^{\max}$, 可以得到从中继 $r(k)$ 购买的最佳数量的功率 $P_{r(k)}^*$:

$$P_{r(k)}^* = \begin{cases} P_{r(k)}^\#, & P_{r(k)}^\# \in [P_{r(k)}^{\min}, P_{r(k)}^{\max}] \\ P_{r(k)}^{\max}, & P_{r(k)}^\# > P_{r(k)}^{\max} \\ 0, & P_{r(k)}^\# < P_{r(k)}^{\min} \end{cases} \quad (11)$$

可得到中继集合 Ω 的最大的可达效用集合 Ψ 如下所示:

$$\Psi = \left\{ U_s(r(k), P_{r(k)}) \mid r(k) \in \Omega, P_{r(k)} = P_{r(k)}^* \right\} \quad (12)$$

为了充分利用中继的功率, 用户从 Ω 中选择对应 Ψ 中最大值的中介。因而选择策略如式(13)所示:

$$r^{opt} = \arg \max_{r(k) \in \Omega} (\Psi) \quad (13)$$

3.3 用户与中继的博弈

假定在 t_0 时刻, 用户根据式(11)–式(13)对 Ω 中的中继进行选择, 选择出最优中继 r^{opt} 。对于任意 $r(k) \in \Omega$, 都可以被看作一个卖者, 目的是获得尽可能多的利润。引入一个参数 $c_{r(k)}$ 表示中继数据所付出的单位功率的成本, 定义 Ω 中所有中继的报价向量 $\rho = (\rho_{r(1)}, \rho_{r(2)}, \dots, \rho_{r(M)})$ 。

中继的策略采用类似于经济行为中的“先市场, 后利润”策略。首先为了保证被用户选择, 中继的报价向量取值为 $\rho(t_0) = (c_{r(1)}, c_{r(2)}, \dots, c_{r(M)})$ 。

中继 r^{opt} 被选中之后, 即对于时刻 $t > t_0$, 为了最大化自身的利益, 会试图提升自身的价格 $\rho_{r^{opt}}(t)$, 同时用户会根据提升后的价格 $\rho_{r^{opt}}(t)$ 调整从 r^{opt} 购买的功率 $P_{r^{opt}}^*(\rho_{r^{opt}}(t))$ 。

最终, 对于中继 r^{opt} 来说, 当以下两个条件满足时, 用户和中继 r^{opt} 之间的博弈会达到平衡, 这时的价格 $\rho_{r^{opt}}(t)$ 和购买的功率 $P_{r^{opt}}^*(t)$ 达到了纳什均衡点 $(\rho_{r^{opt}}^e, P_{r^{opt}}^e)$ 。

条件 1 中继进一步提高价格不能得到更多的利润时, 即对于 $t+1$ 时刻, 中继尝试提高价格, 取 $\rho_{r^{opt}}(t+1) = \rho_{r^{opt}} + \Delta\rho(t+1)$, 同时用户根据式(10), 式(11)计算购买的对应功率 $P_{r^{opt}}^*(t+1)$, 定义增量 $\Delta P_{r^{opt}}^*(t+1) = P_{r^{opt}}^*(t+1) - P_{r^{opt}}^*(t)$, 如果满足 $P_{r^{opt}}^*(t) \cdot \Delta\rho(t+1) > -\Delta P_{r^{opt}}^*(t+1)\rho_{r^{opt}}(t)$ 时, 即通过加价增

加的效用大于用户减少购买功率导致减少的效用时, 认为有利可图, 则确认加价。否则, 认为无利可图, 停止加价过程, 达到了均衡点 $(\rho_{r^{\text{opt}}}^{e_1}, P_{r^{\text{opt}}}^{e_1})$ 。

条件 2 中继提高价格导致用户效用降低到零或者选择其他中继可以得到的最大效用时, 用户会选择其他中继或者不选择任何中继, 则中继加价过程停止。即 $t+1$ 时刻, 中继尝试提高价格至 $\rho_{r^{\text{opt}}}(t+1)$, 用户计算得到对应最佳购买功率 $P_{r^{\text{opt}}}^*(t+1)$ 后, 并代入式(5)计算对应的 $U_s(r^{\text{opt}}, P_{r^{\text{opt}}}^*(t+1))$, 如果满足 $U_s(r^{\text{opt}}, P_{r^{\text{opt}}}^*(t+1)) \geq \max(\Psi_{-r^{\text{opt}}}(t_0))$ 且 $U_s(r^{\text{opt}}, P_{r^{\text{opt}}}^*(t+1)) > 0$, 则继续选择 r^{opt} , 其中 $\Psi_{-r^{\text{opt}}}(t_0)$ 表示在 t_0 时刻用户从除 r^{opt} 以外的中继可取得的效用集合; 否则选择其他中继或者不选择任何中继, 由此可知, 均衡点 $(\rho_{r^{\text{opt}}}^{e_2}, P_{r^{\text{opt}}}^{e_2})$ 满足:

$$\begin{aligned} (\rho_{r^{\text{opt}}}^{e_2}, P_{r^{\text{opt}}}^{e_2}) &= \arg_{(\rho_{r^{\text{opt}}}(t+1), P_{r^{\text{opt}}}^*(t+1))} \{U_s(r^{\text{opt}}, P_{r^{\text{opt}}}^*(t+1))\} \\ &= \max(0, \max(\Psi_{-r^{\text{opt}}}(t_0))) \end{aligned} \quad (14)$$

由上可知, 最终的纳什均衡点 $(\rho_{r^{\text{opt}}}^e, P_{r^{\text{opt}}}^e)$ 满足下式。

$$(\rho_{r^{\text{opt}}}^e, P_{r^{\text{opt}}}^e) = \begin{cases} (\rho_{r^{\text{opt}}}^{e_1}, P_{r^{\text{opt}}}^{e_1}), & \rho_{r^{\text{opt}}}^{e_1} \leq \rho_{r^{\text{opt}}}^{e_2} \\ (\rho_{r^{\text{opt}}}^{e_2}, P_{r^{\text{opt}}}^{e_2}), & \rho_{r^{\text{opt}}}^{e_1} > \rho_{r^{\text{opt}}}^{e_2} \end{cases} \quad (15)$$

4 数值仿真

在这一节对本文提出的基于买者/卖者博弈的中继选择和功率分配策略基于 MATLAB6.5 软件平台进行仿真。仿真参数如表 1 所示:

此外, 设定中继的加价过程采取可变步长调整策略, 即每次迭代提升价格最大幅度为 100, 如果

表 1 仿真参数表

传输带宽 W	1 MHz
传播衰减因子 α	2.5
源节点发射功率 P_s	100 mW
中继最大可分配功率 P_{max}	5 W
信道容量沟道因子 β	2
接收信噪比门限为 β_{th}	5 dB
噪声功率 σ^2	10^{-8} W
单位比特收益 g	5×10^{-5}
单位功率成本 c	1

加价不成功, 则减少加价幅度, 加价幅度衰减因子为 2, 一直到博弈达到纳什均衡为止。

假定仿真的场景如图 2 所示, 协作中继网络有一个目的节点 (D) 位于 $(0 \text{ m}, 0 \text{ m})$, 此外共有 4 个中继节点, 分别位于 $(-150 \text{ m}, 0 \text{ m})$, $(-150 \text{ m}, 50 \text{ m})$, $(-100 \text{ m}, 0 \text{ m})$, $(100 \text{ m}, 0 \text{ m})$, 有一个源节点从 $(-500 \text{ m}, 0 \text{ m})$ 移动到 $(+500 \text{ m}, 0 \text{ m})$ 。

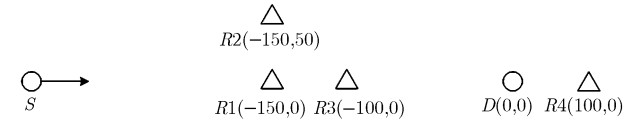


图 2 协作中继网络示意图

图 3 反映了用户在从 $(-500 \text{ m}, 0 \text{ m})$ 移动到 $(+500 \text{ m}, 0 \text{ m})$ 的过程中的博弈结果, 图 3(a), 3(b), 3(c)和 3(d)分别为用户移动到不同的位置处选择的中继号, 达到博弈均衡点所需的迭代次数, 功率价

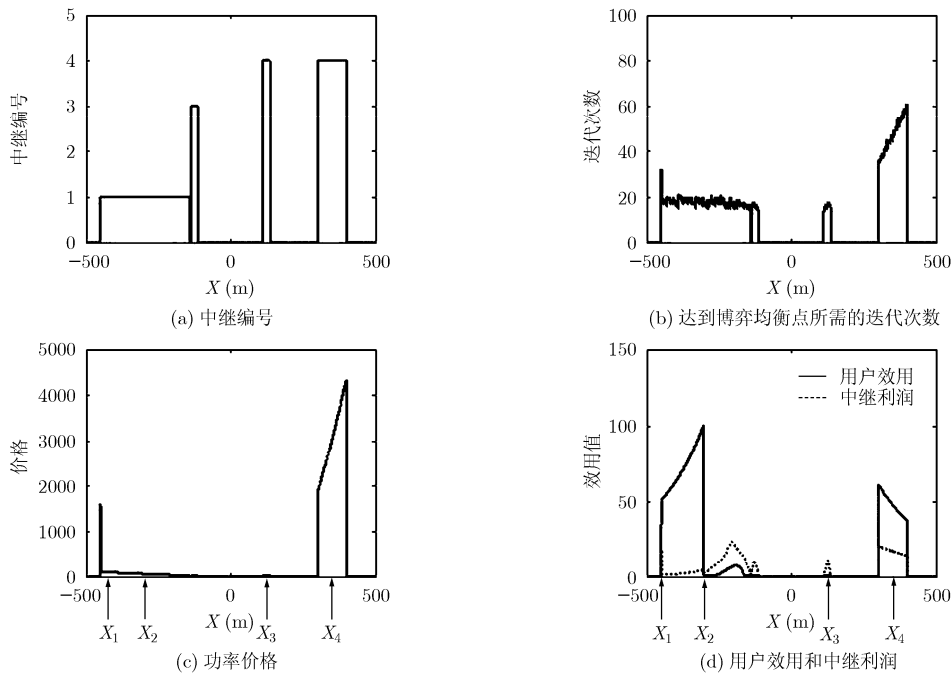


图 3 用户不同位置处的博弈结果

格, 用户效用和中继利润对比。由图可见, 一开始用户和目的节点, 中继节点都没有建立起有效的通信链路, 当用户移动到位置 $X1$ 处, 中继 1 与用户建立起连接, 此时其他中继以及目的节点与用户不能建立有效的通信链路, 用户只能选择中继 $R1$ 协作传输, 中继 $R1$ 可以将功率价格提升到较高并获得较高的利润, 此后, 其他中继建立起与用户的通信链路, 由于中继之间的竞争, 用户选择较多, 可以获得更高的效用, 同时功率价格被压低, 中继利润减少。此后移动到位置 $X2$ 处, 用户与目的节点的直接链路接通, 由于通过中继协作传输得到的速率增量会减少, 因而用户效用降低。当移动到 $X3$ 处和 $X4$ 处时, 用户选择的中继都为 $R4$, 但在 $X3$ 处, 用户与目的节点的直接链路仍然保持接通, 得到的效用较低, 在 $X4$ 处, 用户与目的节点的直接链路中断, 只能通过 $R4$ 协作传输, 由于无竞争, 功率价格提升到较高的幅度, 中继利润也大幅增加。从 3(b) 可以看出, 本文策略收敛速度快, 一般通过 10-60 次迭代即可以达到博弈均衡, 且每次迭代乘法次数只有 1 次。而文献[10]中的策略收敛达到纳什均衡点所需的迭代次数为 200-600 次, 且每次迭代乘法次数有多次, 由此可见, 与文献[10]中的策略相比, 收敛速度提高了至少一个数量级。

为了更好地研究本文策略的性能, 将其与不通过中继协作的 SD 直接链路传输以及文献[7]中的策略作为比较。从图 4 可以看出, 本文策略和文献[7]中的策略的传输性能相近, 覆盖范围也差不多, 用户都可以从 -450 m 位置到 +400 m 位置得到稳定的

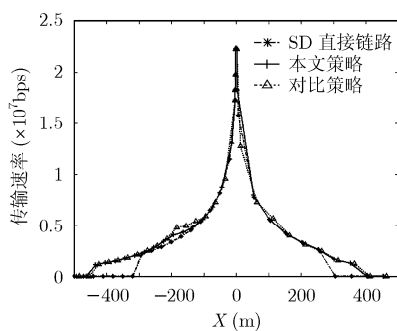


图 4 不同策略下传输速率对比

传输速率, 而与之对比的是在没有中继协作的 SD 链路直接传输情形下, 用户只能在 -300 m 位置到 +250 m 位置得到稳定的传输速率。为了衡量功率利用的效率, 参考文献[12]中的定义, 以可达传输速率与所消耗功率的比值进行衡量, 图 5 为本文策略与文献[7]中的策略在功率利用效率上的对比, 由图可见, 本文策略在功率利用效率即可达传输速率/功率比上要优于文献[7]中的策略。由此可见, 本文策略能够在兼顾用户和中继节点利益的基础上有效提高用户的传输速率, 扩大基站的覆盖范围, 同时增加中继节点功率的利用效率。

5 结束语

协作中继网络中中继节点选择和功率的集中分配策略造成信令开销繁重以及中继节点的自私特性和非均质资源约束推动了分布式中继选择和功率分配算法尤其是博弈论在协作中继网络中的应用方面的研究。本文针对基于解码-转发(DF)协议的协作中继网络, 提出了一种基于买者/卖者博弈的中继选择和功率分配策略, 可以有效协调用户和中继节点的利益, 一方面将用户建模为买者, 以最大效用为标准选择最优的中继和确定最佳的购买功率, 另一方面将中继建模为卖者, 通过先市场后利润的价格策略获得最大的利润, 并分析了两博弈达到平衡的条件。仿真结果验证了纳什均衡点的存在, 并表明该策略计算量低, 收敛速度快, 实用性强, 在兼顾用户和中继节点的利益的同时可以有效提高用户的传输速率, 扩大基站的覆盖范围, 提高功率利用效率。

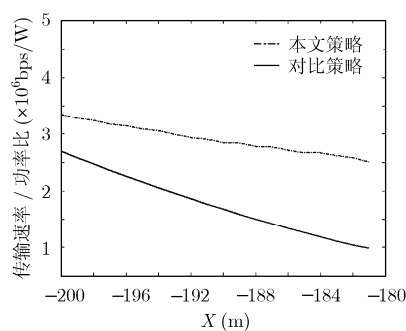


图 5 不同策略下可达传输速率/功率比

参考文献

- [1] Chin W H, Qian Y, and Giambene G. Advances in cooperative and relay communications [J]. *IEEE Communication Magazine*, 2009, 47(2): 100-101.
- [2] Laneman J, Tse D, and Wornell G. Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2004, 50(12): 3062-3080.
- [3] Han Z, Zhang X, and Poor H V. High performance cooperative transmission protocols based on multiuser detection and network coding [J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2009, 8(5): 2352-2361.
- [4] Dohler M, Gkelias A, and Aghvami H. A resource allocation

- strategy for distributed MIMO multi-hop communication systems [J]. *IEEE Communications Letters*, 2004, 8(2): 99–101.
- [5] Luo J, Blum R S, Cimini L, Greenstein L, and Haimovich A. Power allocation in a transmit diversity system with mean channel gain information [J]. *IEEE Communications Letters*, 2005, 9(7): 616–618.
- [6] Ng T and Yu W. Joint optimization of relay strategies and resource allocations in cooperative cellular networks [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2007, 25(2): 328–339.
- [7] Bletsas A, Khisti A, Reed D P, and Lippman A. A simple cooperative diversity method based on network path selection [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2007, 24(3): 659–672.
- [8] Shastry N and Adve R S. Stimulating cooperative diversity in wireless Ad-hoc networks through pricing [C]. Proc. IEEE International Conference on Communications, Istanbul, Turkey. Jun. 2006: 3747–3752.
- [9] Wang Bei Bei, Han Zhu, and Liu K J R. Distributed relay selection and power control for multiuser cooperative communication networks using stackelberg game [J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2009, 8(7): 544–552.
- [10] Huang Jian Wei, Han Zhu, Chiang Mung, and Poor H V. Auction-based resource allocation for cooperative communications [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2008, 26(7): 1226–1237.
- [11] Ana Garcia-Armada. SNR gap approximation for M-PSK-Based bit loading [J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2006, 5(1): 57–60.
- [12] Zhang Zhao yang, Shi Jing, Chen Hsiao-hwa, Guizani M, and Qiu Pei liang. A cooperation strategy based on Nash bargaining solution in cooperative relay networks [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2008, 57(4): 2570–2577.
- 柯 峰: 男, 1975 年生, 博士, 讲师, 从事宽带移动通信、数字集成电路方面的研究.
- 冯穗力: 男, 1955 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为宽带移动通信、下一代互联网.
- 胡 洁: 女, 1980 年生, 博士生, 讲师, 从事无线个人通信技术、通信信号处理方面的研究、开发与教学工作.