

全双工多用户广播信道下的能量吸收效率研究

蒋锋聚¹, 张萌², 罗汉文²

(1. 上海美多通信设备有限公司, 上海 200333; 2. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要: 研究了多用户广播信道场景下的用户能量吸收效率的优化, 假设用户终端采用全双工的模式, 即用户在接收基站的下行能量信息的同时还会进行上行的数据传输. 在保证每个用户的能量吸收效率大于某一阈值且满足基站下行功率发射限制的前提下, 最大化用户中最小的上行发射功率. 最后, 仿真结果证实了提出算法的有效性.

关键词: 全双工; 多用户; 能量吸收

中图分类号: TN 929.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5137(2015)01-0039-05

0 引言

随着通信技术的不断发展, 一些新技术也将会逐渐进入商用的阶段. 全双工技术和能量吸收技术作为无线通信的新研究方向得到了学术界和工业界的广泛重视, 并进行了深入的研究. 全双工技术如果能够进入实际应用阶段, 几乎能够成倍地提高现有通信系统的性能^[1-2]. 尽管目前为止全双工系统中的上下行天线之间的干扰还没有做到 100% 的消除, 但是这不会阻挡它的美好应用前景.

能量吸收技术作为一种无线通信中的辅助传输技术, 在近些年也得到了学者们的广泛关注. 其实, 早在若干年前, 诺基亚一些型号的手机就已经拥有了无线充电的功能. 现在, 学者们更加关注基站作为充电源的场景下, 用户如何能够在同时接收下行数据时兼顾能量的吸收. 作者在[3]中将能量吸收技术与 OFDM 结合, 给出了最优的子载波分配时长以及功率分配方案. 在[4]中, 作者则是研究了单小区多用户场景下的能量吸收最优化. 此外, 作者在[5]中研究了能量吸收用户有可能是窃听者的情形, 并给出了物理层安全速率最大化的设计方案.

最后在[6]中作者将全双工与能量吸收技术相结合, 给出了最优的用户上行时隙分配以及功率分配方案.

1 系统模型

研究了基站配有 N 根发射天线 ($N > 2$), 用户配有两根天线的情况. 基站同时服务 K 个用户, 用户采用的是全双工模式, 即一方面基站发出的能量信号会被用户吸收, 另一方面用户还可以进行上行链路的数据信息传输.

假设下行接收到的能量能够瞬时转化为上行传输的能量, 该模型等价于半双工模式下上下行传输时隙相等的情形, 即基站先进行下行的能量, 之后用户在进行上行信息的传输.

收稿日期: 2014-12-12

通信作者: 罗汉文, 中国上海市东川路 800 号, 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 邮编: 200240, E-mail: hwlw@sjtu.edu.cn.

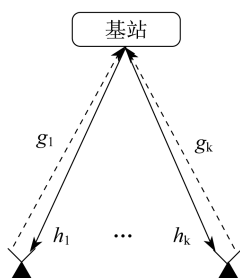


图1 系统框图

在下行链路中,基站通过波束赋形的技术来给各个用户传递能量信息,基站的发射信息可以表示为:

$$x = \sum_{i=1}^K w_i s_i. \quad (1)$$

其中 $\|s_i\|^2 = 1$, 代表了能量的初始信息.

第 k 个用户接收到的下行能量信息可以表示为:

$$y_k^{DL} = h_k x + n_k = h_k \sum_{i=1}^K w_i s_i + n_k. \quad (2)$$

假设噪声的能量是不能够被用户终端吸收的,因此用户终端可以吸收的能量可以表示为:

$$E_k = \mu_k \left\| h_k \sum_{i=1}^K w_i s_i \right\|^2. \quad (3)$$

类似于能量效率的概念,提出了能量吸收效率的定义,即所有用户吸收的有效能量与基站发射能量的比值(为了方便讨论,假设时间单位为1),

$$EHE_k = \frac{\mu_k \left\| h_k \sum_{i=1}^K w_i s_i \right\|^2}{\left\| \sum_{i=1}^K w_i s_i \right\|^2}. \quad (4)$$

考虑到全双工的特性,假设下行吸收到的能量都能瞬时转化为上行的发射功率,即

$$|d_i|^2 = P_i^{HA} = E_k. \quad (5)$$

在上行信息传输中,所有用户都会利用各自上行发射天线同时向基站传递信息,基站接收到的信息可以表示为:

$$y^{UL} = \sum_{i=1}^K g_i d_i + n. \quad (6)$$

针对第 k 个用户发射的上行数据,基站采用了线性接收机 f_k , 经过了均衡的信号可以表示为:

$$\tilde{y}_k^{UL} = f_k \sum_{i=1}^K g_i d_i + n. \quad (7)$$

然后,第 k 个用户的上行信息的信干噪比(signal-to-interference-plus-noise, SINR)为:

$$\text{SINR}_k^{UL} = \frac{\|f_k g_k d_k\|^2}{\|f_k \sum_{i=1, i \neq k}^K g_i d_i\|^2}. \quad (8)$$

优化目标是在保证每个用户的能量吸收效率大于某一阈值且满足基站下行功率发射限制的前提下,最大化用户中最小的上行发射功率,即

$$\max_{f_k, w_k} \min \text{SINR}_k^{UL}, \quad (9a)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^K |w_k|^2 \leq P^{DL}, \quad (9b)$$

$$EHE_k \geq r_k. \quad (9c)$$

其中(9c)可以表示为:

$$\sum_{i=1}^K \text{Tr}(h_k w_i w_i^H h_k^H) \geq r_k \sum_{i=1}^K \text{Tr}(w_i w_i^H). \quad (10)$$

通过引入 $w_i w_i^H = w_i$, 可以得到

$$\sum_{i=1}^K \text{Tr}(h_k w_i h_k^H) \geq r_k \sum_{i=1}^K \text{Tr}(w_i). \quad (11)$$

同时, 还应该注意到 $\text{rank}(w_i) = 1$, 因为它只是由一个向量张成的空间. 同理, 可以把(9b)转化为:

$$\sum_{i=1}^K \text{Tr}(w_i^H) \leq P^{DL}. \quad (12)$$

类似地, 引入 $f_k^H f_k = Z_k$, 可以把(9a)转化为:

$$\begin{aligned} \text{SINR}_k^{UL} &= \frac{\|f_k g_k d_k\|^2}{\|f_k \sum_{i=1, i \neq k}^K g_i d_i\|^2} = \\ &= \frac{E_k \text{Tr}(f_k g_k g_k^H f_k^H)}{\sum_{i=1, i \neq k}^K E_i \text{Tr}(f_k g_i g_i^H f_k^H)} = \\ &= \frac{E_k \text{Tr}(Z_k g_k g_k^H)}{\sum_{i=1, i \neq k}^K E_i \text{Tr}(Z_k g_i g_i^H)}. \end{aligned} \quad (13)$$

然后最优化问题可以化为下面的形式,

$$\max_{Z_k, W_k} \frac{E_k \text{Tr}(Z_k g_k g_k^H)}{\sum_{i=1, i \neq k}^K E_i \text{Tr}(Z_k g_i g_i^H)}, \quad (14a)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^K \text{Tr}(W_i) \leq P^{DL}, \quad (14b)$$

$$\sum_{i=1}^K \text{Tr}(h_k W_i h_k^H) \geq r_k \sum_{i=1}^K \text{Tr}(W_i), \quad (14c)$$

$$\text{rank}(W_i) = 1, \text{rank}(Z_i) = 1, \forall i. \quad (14d)$$

引入变量 t , 最优化问题(14)可以进一步转化为:

$$\max_{Z_k, W_k, t} t, \quad (15a)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^K \text{Tr}(W_i) \leq P^{DL}, \quad (15b)$$

$$\sum_{i=1}^K \text{Tr}(h_k W_i h_k^H) \geq r_k \sum_{i=1}^K \text{Tr}(W_i), \quad (15c)$$

$$\frac{E_k \text{Tr}(Z_k g_k g_k^H)}{\sum_{i=1, i \neq k}^K E_i \text{Tr}(Z_k g_i g_i^H)} \geq t, \quad (15d)$$

$$\text{rank}(W_i) = 1, \text{rank}(Z_i) = 1, \forall i. \quad (15e)$$

在给定了 t 的前提下,最优化问题(15)依然是非凸优化问题,因为(15d)的约束不是凸集合.此时,采用了一种改进后的迭代算法,在 t 给定的前提下,交替的优化 W_i 和 Z_i . 具体流程如下:

1. 给定 $t_{\max}, t_{\min} = 0, t = 0, M = 100, ite_1 = 10, ite_2 = 20, count = 0$;
2. $t = t_{\max}/2$, 随机产生 M 组 Z_i , 并分别带入最优化问题(15)求解 W_i , 迭代循环次数为 ite_1 次.
3. 如果存在 $W_i, t_{\min} = t$; 如果不存在 $W_i, t_{\max} = t$;
4. $t = (t_{\max} + t_{\min})/2, count = count + 1$;
5. 如果 $count > ite_2$, 退出算法, 输出最后一次得到的有效 W_i .

得到了最优解 W_i 和 Z_i 之后, 如果它们的秩不为 1, 可以采用随机化方法来获得近似的最优解.

2 仿真对比

仿真中, 给出了针对最优化问题(15)在不同阈值情况下的用户上行 SINR 性能. 可以看到随着阈值的增加, 用户中最小 SINR 会减小. 这是因为阈值的增加, 导致最优化问题(15)的可行解空间的缩小, 进而无法获得更好性能的最优解.

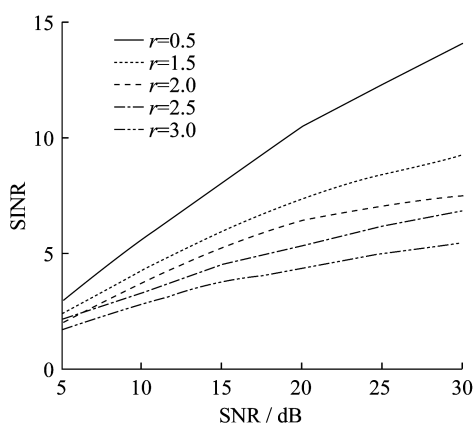


图2 不同阈值下的用户最差 SINR 比较

3 结论

研究了多用户广播信道场景下的用户能量吸收效率的优化问题. 与以往上下行信道只传输信息不同, 文中假设用户终端采用全双工的模式同时传输信息和能量, 即用户在接收基站的下行能量信息的同时还会进行上行的能量传输. 文中给出在此场景下寻找用户 SINR 最差的方法, 同时, 还考虑到了能量的吸收效率. 最后, 通过仿真, 给出了不同的能量吸收效率下所能获得的 SINR. 随着能量吸收效率所设阈值的增加, 能够获取最优解的可能性越来越小, 从侧面说明了算法的有效性. 由于在模型建立过程中做了诸多假设, 算法还存在着一些局限性.

参考文献:

- [1] HUA Y, MA Y, LIANG P, et al. Breaking the barrier of transmission noise in full-duplex radio: MILCOM[C]. San Diego: IEEE, 2013.
- [2] HUA Y, LIANG P, MA Y, et al. A method for broadband full-duplex MIMO radio[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2012, 19(12): 793 - 796.

- [3] ZHOU X,ZHANG R,HO C K. Wireless information and power transfer in multiuser OFDM systems[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2014,13(4):2282 – 2294.
- [4] XU J,LIU L,ZHANG R. Multiuser MISO beamforming for simultaneous wireless information and power transfer[J]. Submitted to IEEE Transactions on Signal Processing (available online at arXiv:1303.1911).
- [5] LIU L,ZHANG R,CHUA K C. Secrecy wireless information and power transfer with MISO beamforming[J]. IEEE Transactions on Signal Processing,2014,62(7):1850 – 1863.
- [6] JU H,ZHANG R. Optimal resource allocation in full-duplex wireless powered communication network[J]. Submitted to IEEE Transactions on Communications (available online at arXiv:1403.2580).

Reserch on energy absorption efficiency in full-duplex multi-user broadcast channel

JIANG Fengju¹, ZHANG Meng², LUO Hanwen²

(1. Shanghai Duomei Communication Equipment Co. ,Ltd. ,Shanghai 200333, China;

2. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: This paper studies the user energy scenarios absorption efficiency optimization in multiuser broadcast channel. This paper assumed that the user terminals using full-duplex mode that the user receive uplink energy information and transfer uplink energy at the same time. In this paper, we maximize the minimum user uplink transmit power, when we ensure that each user's energy absorption efficiency is greater than a threshold value and satisfies the premise of the base station downlink power emission limits. Finally, the simulation results confirm the effectiveness of the proposed algorithm.

Key words: full-duplex; multi-user; energy absorption

(责任编辑:包震宇)