

基于时分复用的认知 MIMO 系统的干扰消除算法

张慧杰, 李莉, 夏林, 杨敬文

(上海师范大学信息与机电工程学院, 上海 200234)

摘要: 在认知 MIMO 通信系统中, 认知用户伺机接入到主用户的频谱中, 在传输过程中认知用户对主用户以及认知用户之间都会产生很大的干扰. 为了消除认知用户之间的干扰, 提出基于时分复用的干扰消除算法. 该算法旨在认知系统中对认知用户传输的整个时间段进行划分, 在保证认知系统吞吐量最大的情况下, 得到每个认知用户的传输时间段, 然后在对应的传输时间段下进行此认知用户的通信, 此时只有单个认知用户进行通信, 避免受到其他认知用户的干扰. 仿真结果表明, 在信噪比小于 6 dB 时, 采用所提算法下, 单位带宽认知系统可以增加 0.5 bit/s 的吞吐量, 同时能源效率平均提高了 $1.2 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$.

关键词: 认知 MIMO; 干扰消除; 时分复用

中图分类号: TN 929.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5137(2015)01-0077-04

0 引言

随着无线服务的日益增加, 很少有无线频谱资源会被剩余, 两个不同的无线系统同时共存的机会增多. 例如, 在 UWB (ultra wideband) 技术中, FCC 把 3.1 ~ 10.6 GHz 频谱带中 7.5 GHz 频谱分给想接入到 UWB 又没有分配频谱的设备, 但是这个 7.5 GHz 的频谱已经被 IEEE802.16e 或者是 WiMAX 作为主用户所使用, 由此就得利用到认知无线电的检测、避免^[1]和伺机接入技术.

认知 MIMO 通信系统将认知无线电与 MIMO 技术相结合, 认知无线电中存在的基本问题可以从时域和频域的角度加以解决, 但从空域的角度解决能够使得主用户和认知用户在时间和频率上重叠, 更好地提高频谱利用率. 将 MIMO 技术应用于认知无线网络中, 可以进一步利用 MIMO 的阵列增益、分集增益、复用增益等来提高认知无线网络的频谱资源利用率, 还可以应用 MIMO 的波束成型、预编码技术来对抗网络中的各种干扰^[2]. 在认知 MIMO 通信系统中, 主用户和认知用户共存, 且均采用多输入多输出天线进行传输. 但随着网络中用户数和吞吐量需求的日益增大, 用户间的干扰总是制约着网络的吞吐量, 因此寻求有效的干扰管理方法显得尤为关键. 学者们提出了干扰对齐^[3], 作为与 MIMO 技术相结合的一种技术手段, 可以有效地抑制或消除用户间的干扰, 实现多用户的共存.

在专利[4]中, 针对认知 MIMO 通信系统, 提出了一种基于干扰对齐技术的两级预编码的设计方法, 该方法对主用户和认知用户的发送端进行预编码矩阵的设计, 在认知用户伺机接入到主用户频谱进行通信的过程中, 把认知用户对主用户的干扰对齐到主用户未用的空间子信道中, 同时通过二级预编码的设计来保证认知用户自身的传输性能. 在所设计的这个方法中, 只考虑了减少认知用户对主用户的干扰, 没有考虑认知用户之间干扰情况, 为了进一步提高认知系统的吞吐量, 进行如下的研究.

收稿日期: 2014-12-12

基金项目: 上海市教委支持创新项目(12ZZ126); 上海师范大学(DZL126)

通信作者: 李莉, 中国上海市桂林路 100 号, 上海师范大学信息与机电工程学院, 邮编: 200234, E-mail: lilyxuan@shnu.edu.cn

1 系统模型

如图 1 所示,考虑一个主用户和 k 个认知用户通信的场景下,主用户和认知用户发射端天线数设置为 M ,接收端天线数设置为 N ,认知用户采用伺机接入主用户信道的方式进行通信。

对于主用户,在传输的过程中受到来自认知用户的干扰,这时为了减少干扰,对认知用户的发送端进行预编码矩阵设计^[4],为了消除认知用户之间的干扰,在认知用户系统中,对于 k 个认知用户 CR_1, CR_2, \dots, CR_k ,采用时分复用方式进行通信,设定在 t_i ($i=1, \dots, k$) 时间段 CR_i 进行传输,且 $t_1 + t_2 + \dots + t_k = 1$,这样, k 个认知用户在传输的过程中,处在不同的传输时间段,不会受到彼此的干扰. 在图 1 的系统模型中,第 i 个认知用户接收端的表达式为:

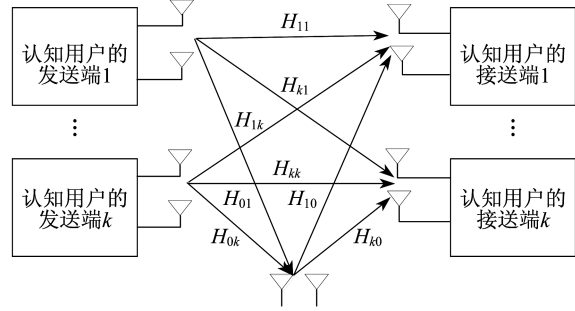


图 1 认知 MIMO 系统模型图

$$y_i = H_{ii}x_i + \sum_{j \neq i} H_{ij}x_j + H_{i0}x_0 + N_i. \quad (1)$$

那么,可以算出第 i 个用户的吞吐量表达式为:

$$C_i = t_i \log \left(1 + \frac{P_i H_{ii}}{t_i (P_0 H_{i0} + N_i)} \right). \quad (2)$$

其中, x_i, x_j, x_0 分别为认知用户 i , 认知用户 j 和主用户的发送信号, P_i 为认知用户的发送功率, P_0 为主用户的发送功率, H_{ii} 为第 i 个认知用户的传输信道矩阵, H_{ij} 为第 j 个认知用户对第 i 个认知用户的干扰信道矩阵, H_{i0} 为主用户对第 i 个认知用户的干扰信道矩阵, N_i 是均值为 0, 方差为 1 的复高斯噪声。

2 基于时分复用的干扰消除算法

本章算法中,对认知系统中的认知用户通信的整个时间段进行划分,在保证整个认知系统吞吐量最大的情况下,得到每个认知用户的传输时间段,然后在对应的传输时间段下进行此认知用户的通信,此时只有单个认知用户进行通信,避免受到其他认知用户的干扰. 本章所提出的算法旨在消除式(1)中等号右边的第二项式子表示的干扰。

研究一个主用户和 3 个认知用户 CR_1, CR_2, CR_3 进行通信的场景下, CR_1, CR_2, CR_3 所传输的时间段分别为 t_1, t_2, t_3 , 且 $t_1 + t_2 + t_3 = 1$. 同时为了考虑认知系统中各认知用户的公平性,研究的问题可以归结为:

$$\max \sum_{i=1}^k \log C_i, \quad (3)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^3 t_i = 1, \quad (4)$$

$$P_i \| H_{ii} \| \leq \xi_{th}. \quad (5)$$

其中,下标 i 表示第 i 个认知用户,这里 $i=1, 2, 3$; P_i 为认知用户 i 的发送功率; ξ_{th} 为主用户所能容忍的干扰门限。

利用穷举法,可以求得吞吐量 C 取得最大时的 t_1, t_2, t_3 的值以及 C 的最大值. 此时得到的即为两个认知用户各自通信的时间段,在时刻 t_1 认知用户 CR_1 进行通信,在时刻 t_2 认知用户 CR_2 进行通信,在时刻 t_3 认知用户 CR_3 进行通信,这样各自在通信的过程中只有自身在进行传输,不受其他认知用户的干扰. 各认知用户在通信的过程中,虽然没有受到其他认知用户的干扰,但是自身进行通信的时间也减少了。

这里,除了考虑吞吐量这个技术指标外,还考虑了能源效率(Energy Efficiency),能源效率表达式^[5]

为式(6):

$$\frac{\sum_{i=1}^3 C_i}{\sum_{i=1}^3 P_i} \quad (6)$$

其中, C_i 表示第 i 个认知用户的吞吐量.

在认知系统中,基于时分复用的干扰消除算法,其在特定的时间段进行特定用户的通信,不受其他认知用户的干扰,此时传输所需要功率尽量减少,不浪费在干扰上,这种算法下,能源效率的提高是应该重视的.

3 仿真结果与分析

本节对提出的基于时分复用的干扰消除算法进行仿真. 设置一个主用户,3 个认知用户进行传输,主用户的编号为 0,认知用户编号为 1,2 和 3;主用户收发两端的天线数为 M ,认知用户收发两端的天线数为 N ;所有信道矩阵都服从瑞利分布. 为了简单起见,所有接收和发送端均采用相同的天线数, $M = N = 3$;设定噪声方差 $\sigma^2 = 1$,主用户和认知用户是在相同的信噪比条件下.

把 3 个认知用户作为一个认知系统的整体,对未采用干扰消除算法时和采用所提出的基于时分复用的干扰消除算法时认知系统的吞吐量进行仿真,仿真结果如图 2 所示;为了更好地说明基于时分复用时用户能源效率的提高,对未采用干扰消除算法时和采用所提出的基于时分复用的干扰消除算法时认知系统的能源效率也进行了仿真,结果如图 3 所示.

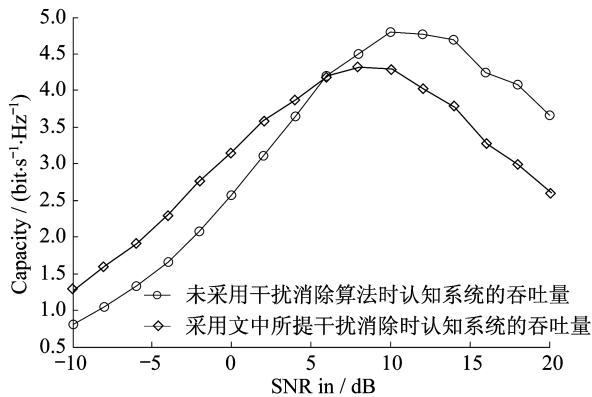


图 2 认知系统吞吐量对比图

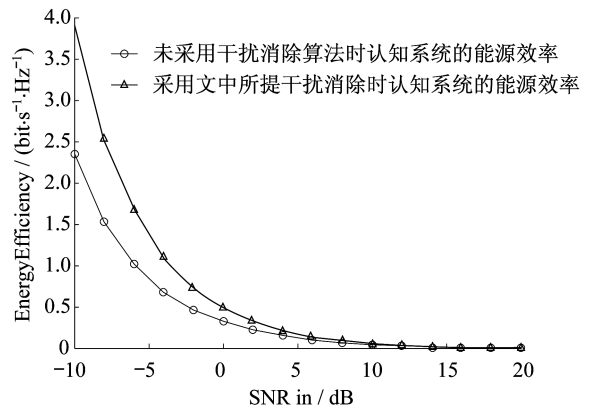


图 3 认知系统能源效率对比图

从图 2 中可以看出,随着 SNR 的增大,认知系统的吞吐量增大,且在 SNR 较小的时候,采用所提基于时分复用的干扰消除算法时,认知系统的吞吐量明显高于未采用干扰消除算法时认知系统的吞吐量;在 SNR 为 6.5 dB 到 7 dB 后,采用所提基于时分复用的干扰消除算法时,认知系统的吞吐量却低于未采用干扰消除算法时认知系统的吞吐量;另外,随着 SNR 的增大,认知用户吞吐量也随着增大,在 SNR 为 7 dB 到 10 dB 时,认知用户的吞吐量达到最大值,然后,SNR 在增大时,认知用户的吞吐量会出现下降的趋势,这是因为在认知无线电中,随着 SNR 的增大,主用户的信道质量变好,这时认知用户伺机接入主用户信道的机会变小,导致认知用户的性能下降. 从图 3 可以看出,能源效率随着 SNR 的增大而减少,在低信噪比情况下,采用所提基于时分复用的干扰消除算法,时认知系统的能源效率明显高于未采用干扰消除算法时认知系统的能源效率,但是当信噪比在 7 dB 之后,两者的差距越来越小,能源效率趋于一致. 因此,得出结论,这种基于时分复用的干扰消除算法只适用于低信噪比的情形下提高系统的吞吐量和能源效率,在高信噪比下,仍然采用同时传输的方法.

4 结 论

本文作者在认知 MIMO 通信系统中为了提高主用户系统和认知用户系统研究设计认知用户发送端预编码的基础上,针对认知用户之间的干扰,在认知 MIMO 系统中提出基于时分复用的干扰消除算法.该算法旨在认知系统中对认知用户传输的整个时间段进行划分,在保证认知系统吞吐量最大的情况下,得到每个认知用户的传输时间,然后通过仿真来对比采用所提干扰消除算法和未采用干扰消除算法下的认知系统的吞吐量以及能源效率,仿真结果可以看出,在信噪比小于 6 dB 时,采用所提算法下,单位带宽认知系统可以增加 0.5 bit/s 的吞吐量,同时能源效率平均提高了 $1.2 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{w}^{-1}$. 下一步的研究还着力于减少主用户对认知用户的干扰以及在不完美信道信息的情况下进行干扰消除算法的研究.

参考文献:

- [1] HAYKIN S. Cognitive radio: brain – empowered wireless communications [J]. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 2005, 23(2): 201 – 220.
- [2] LI M M. Research on Key Techniques in Cognitive MIMO Wireless Networks [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011.
- [3] CADAMBE V R, JAFAR S A. Interference alignment and degrees of freedom of the m – user interference channel [J]. Information Theory, IEEE Transactions on, 2008, 54(8): 3425 – 3441.
- [4] LI L, ZHANG H J. Design method of two stage pre-coding a cognitive MIMO communication system: China, 201410061223 [P]. 2014-02-21.
- [5] HAN C, HARROLD T, ARMOUR S, et al. Green radio: radio techniques to enable energy – efficient wireless networks [J]. Communications Magazine IEEE, 2011, 49(6): 46 – 54.

The interference elimination algorithm based on time division multiplexing for cognitive MIMO system

ZHANG Huijie, LI Li, XIA Lin, YANG Jingwen

(College of Information, Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: In cognitive MIMO system, cognitive users communicate by opportunistically accessing the spectrum of primary user. In the process of transmission, cognitive users to primary users and other cognitive users will produce big interference. In order to eliminate the interference between cognitive users, this paper puts forward the interference elimination algorithm based on time division multiplexing. The simulation results show that when the SNR is less than 6 dB, under the unit bandwidth, the throughput of cognitive system adopting the proposed algorithm in this paper can increase 0.5 bit/s, at the same time, the average energy efficiency increased $1.2 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{w}^{-1}$.

Key words: cognitive MIMO; interference elimination; time division multiplexing

(责任编辑:包震宇)