

WRAN 中的协作频谱感知参数优化^①

王晓迪, 惠晓威, 吴立涛

(辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院, 葫芦岛 125105)

摘要: 在 WRAN 中, 考虑实际授权信道的使用状况, 并且权衡信道利用效率和系统资源利用效率, 设计一种认知无线电协作频谱感知机制. 在不同使用特征的授权信道中, 该机制都可以求解出最优感知参数组合, 使感知效率最大. 分析了信道利用效率和系统资源利用效率的选择性加权对感知效率的影响. 当系统的抗干扰门限足够大时, 可以明显提高用于传输数据的时间.

关键词: 信息认知无线电; 协作频谱感知; 感知效率; 信道可用度提

Parameters Optimization for Cooperative Spectrum Sensing in Wireless Regional Area Network

WANG Xiao-Di, HUI Xiao-Wei, WU Li-Tao

(School of Electronic and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: In Wireless Regional Area Network, considering the actual licensed channel usage and weighting the channel utilization efficiency and system resources efficiency, a parameters optimization algorithm in cognitive radio is proposed. Simulation shows that the proposed algorithm can figure out the optimal sensing parameters for each licensed channel and maximize the sensing efficiency. Analyzed the channel utilization efficiency and selectivity of system resource utilization efficiency weighted affect cognitive efficiency. Moreover, the transmission duration can be improved significantly, if the anti-interference threshold of the system is large enough.

Key words: cognitive radio; cooperative spectrum sensing; sensing efficiency; channel available probability

1 引言

认知无线电技术中频谱感知的目的是快速准确地发现频谱空穴, 以便认知无线电用户能顺利接入^[1]. 为了进一步提高频谱感知性能, 除了研究新的、高效的频谱感知技术之外, Ghasemi 和 Hyoil Kim 等人开始关注感知机制的优化问题^[2], 即联合优化感知时间、传输时间等参数, 提高频谱感知效率, 最终实现提高频谱利用率的目的.

目前, 许多学者开始对协作频谱感知的参数优化问题进行研究^[3-7]. 文献[3-5]是在周期感知模式下进行研究, 结合待检测授权信道的使用特征对观测时长与通信时长进行适当选取, 才能不对授权用户造成有害干扰. 文献[6]提出了一种在综合考虑认知无线电的系统利用率和资源利用率的基础上, 如何通过设置感知参数来实现频

谱感知效率最大化的算法. 文献[7]在单信道情况下, 推导了使频谱感知效率最大化的感知参数优化过程.

本文把认知无线电的频谱感知机制优化问题具体在 IEEE 802.22 的 WRAN (Wireless Regional Area Network) 中, 设计了一种认知无线电协作频谱感知机制: 借助于实际的信道可用度, 并对信道利用效率和系统资源利用效率进行选择加权. 通过数据分析以及仿真得到一组最优的参数组合.

2 协作频谱感知机制

2.1 优化的目标函数

假设协作频谱感知的系统模型设定在 IEEE 802.22 的 WRAN 里, 如图 1. 本文采用集中式协作频谱感知. 不失一般性, 假设所有的认知无线电用户有相

^① 收稿时间:2013-02-04;收到修改稿时间:2013-03-18

同的感知性能^[8].

在 WRAN 中, 周期性频谱检测的帧结构包括两个时隙: 频谱感知时隙和数据传输时隙, 涉及到感知时间和传输时间两个感知参数^[9]. 令 T_d 表示感知时间, T 表示传输时间.

经 T_d 后, 认知无线电用户可以感知到授权信道具体的状态. 为使认知无线电用户能有较好的用户体验, 传输时间 T 需要依据信道可用度 ρ 设定. 基于这个设想, 综合考虑信道利用效率与系统资源利用效率, 单信道情况下感知效率的最优化问题可以表示为:

$$\max \eta(m^*, T_d^*, T^*) = w \frac{T_c}{\rho T + T_d} + (1-w)(1 - \frac{m}{M}) \quad (1)$$

$$s.t.: \varepsilon \leq \tau, 1 \leq m \leq M \quad (2)$$

其中: m^* , T_d^* , T^* , T_c , ε , τ 和 w 分别表示最优的参与协作的感知用户数, 最优的感知时间, 最优的传输时间, 系统的有效传输时间, 归一化干扰比, 系统所能忍受的干扰限度和权重(权重取决于在系统设计中信道利用率或系统资源利用效率的重要程度).

要使感知效率最优, 就要在设定的通信环境中, 通过数值分析以及仿真求解出一组恰当的 m^* , T_d^* , T^* 参数组合.

便于后续分析, 假设授权信道的繁忙与空闲周期均满足独立且服从指数分布, 令 α 与 β 分别为信道状态由繁忙转为空闲和由空闲转为繁忙的转移率. 因此, 繁忙与空闲状态的平均持续时长分别为 $1/\alpha$ 与 $1/\beta$, 且两状态统计概率分别为:

$$P_{on} = \frac{\beta}{\alpha + \beta} \quad (3)$$

$$P_{off} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (4)$$

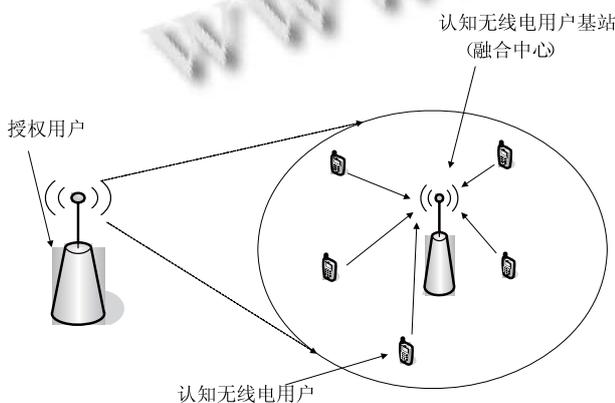


图 1 IEEE 802.22 WRAN 系统的简化描述

2.2 参数分析

2.2.1 可用信道的概率

认知用户会利用信道传输的情形有两种^[10]:

1) 信道可用, 且认知用户正确感知到该信道, 即无虚警概率, 概率为

$$P_{off}(1 - P_F) \quad (5)$$

2) 信道不可用, 但是认知用户检测为可用, 概率为

$$P_{on}(1 - P_D) \quad (6)$$

综上, 规定获得可用信道的概率为

$$\rho = P_{off}(1 - P_F) + P_{on}(1 - P_D) \quad (7)$$

其中: P_F 、 P_{on} 分别为单个认知无线电用户的虚警概率和检测概率.

2.2.2 归一化干扰比

干扰时长与通信时长的比值, 即 $\varepsilon = \frac{T_1}{T}$.

实际上, 一旦认知无线电用户与授权用户发生通信冲突, 则其通信时长内的信息将无法解析. 而且, 与授权信道各状态持续时长相比, 通信时长相当短, 因此授权信道发生超过 2 次状态变化的概率可忽略不计. 所以, 认知无线电用户将在 2 种情况下对授权用户产生干扰, 定义 $T_{1,1}$ 与 $T_{1,2}$ 分别为 2 种情况下的干扰时长^[6]. f_{off} 、 f_{on} 分别为信道繁忙和信道空闲的概率. 可推:

情况 1: 发生错误检测, 即授权信道为繁忙状态而感知结果为空闲.

$$T_{1,1} = \int_T^\infty f_{on}(t)Tdt + \int_0^T f_{off}(t)tdt \quad (8)$$

情况 2: 授权信道状态发生变化, 即在通信时隙内授权信道由空闲转入繁忙状态.

$$T_{1,2} = \int_0^T f_{off}(t)(T-t)dt \quad (9)$$

考虑感知信道的可用状态, 计算干扰时长可描述为:

$$T_1 = P_{on}(1 - P_D)T_{1,1} + P_{off}(1 - P_F)T_{1,2} \quad (10)$$

根据授权信道的繁忙与空闲周期均服从指数分布, 可得

$$T_1 = \frac{1}{\alpha} P_{on}(1 - P_D)(1 - e^{-\alpha T}) + P_{off}(1 - P_F) \left[T - \frac{1}{\alpha}(1 - e^{\alpha T}) \right] \quad (11)$$

对上式泰勒展开, 舍去趋零项, 可推得归一化干扰比 ε 为:

$$\varepsilon = P_{on}(1 - P_D) + \frac{\alpha T}{2} (P_{on}P_D - P_{off}P_F + P_{off} - P_{on}) \quad (12)$$

2.2.3 有效通信时长 T_c

分析发现, 认知用户只在 1 种情况下才能进行有效通信, 即认知用户有效地感知到空闲授权信道, 且

授权信道在整个通信时长内一直处于空闲状态. 故有效通信时长为

$$T_c = \rho \int_T^{\infty} f_{off}(t) T dt \quad (13)$$

求解得到: $T_c = \rho T e^{-\beta T}$

3 参数优化

1) 感知时间 T_d

假设所有用户同步, 认知无线电用户的本地检测使用能量检测算法, 认知基站利用 OR 准则进行数据融合. 求解感知时间 T_d 具体的过程参看文献[6,7].

$$T_d = \frac{1}{W\gamma^2} \left[Q^{-1} \left(\frac{1 - \sqrt{1 - P_F}}{P_{off}} \right) - \sqrt{1 + 2\gamma^2} Q^{-1} \left(\frac{1 - \sqrt{1 - P_D}}{P_{on}} \right) \right]^2 \quad (14)$$

其中, γ 为认知无线电用户接收到的信噪比. $\overline{P_F}$ 和 $\overline{P_D}$ 分别为认知无线电系统的全局虚警概率和全局检测概率.

2) 传输时间 T

由式(2), (12)得到, 传输时间必须满足:

$$T \leq \frac{2}{\alpha} \frac{\tau - P_{on}(1 - \overline{P_D})}{P_{on}\overline{P_D} - P_{off}\overline{P_F} + P_{off} - P_{on}} \quad (15)$$

式(12)对 T 求导, 可以看到 $\frac{\partial \varepsilon}{\partial T} > 0$, 由高等数学可知: 它是单调递增函数, 所以当系统的抗干扰门限足够大时, T 取最大值.

4 仿真与分析

假设 $\gamma = -5\text{dB}$; $W = 10 \text{ kHz}$; $M = 50$; $\overline{P_F} = 0.01\%$; $\overline{P_D} = 99.99\%$; $\tau = 0.02$; 3 种授权信道的状态转化率分别为 $(\alpha=1, \beta=2)$, $(\alpha=1, \beta=1)$, $(\alpha=2, \beta=1)$. $w=0.9$. 本文采用 matlab 进行仿真.

由式(14)可知, T_d 的取值与参与协作的认知无线电用户个数 m 有关. 当设定好通信仿真环境后, 感知效率 $\max \eta$ 可由通信时间 T 和参与协作的认知无线电用户个数 m 确定. 其中, T 可由式(15)确定. 参与协作的认知无线电用户个数 m 可由图 2 确定. 由图 2 可知, 三条仿真曲线都是先增后减, 即存在最优的参与协作的认知无线电用户个数 m , 使频谱协作感知效率最大.

由图 2 可得: 不同的授权信道对感知效率 $\max \eta$ 的影响. 在相同的通信环境下, 状态转化率是 $(\alpha=2, \beta=1)$ 的授权信道可获得的感知效率 $\max \eta$ 最优. 原因

是: α 越大 β 越小, 信道空闲概率越大, 信道可用的概率越大, 从而感知效率 $\max \eta$ 越大. 不足之处是, 需要的协作认知无线电用户个数较多, 系统的资源利用效率不高.

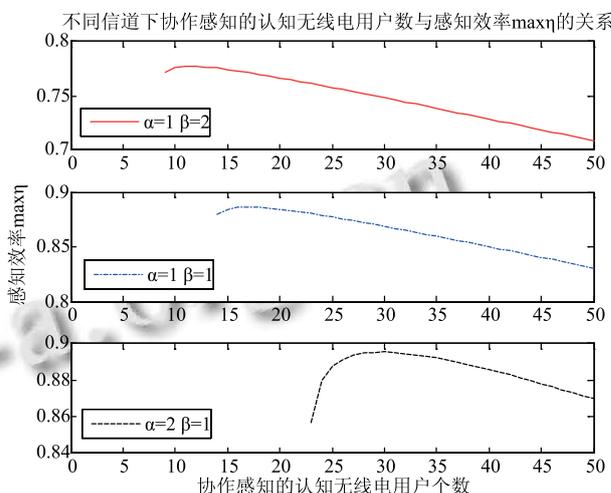


图 2 不同信道下协作感知的用户数与感知效率 $\max \eta$ 的关系

在设定优化的目标函数时, 引入了权重这一参数, 以此来权衡信道利用效率和系统资源利用效率. 权重对感知效率的影响, 如图 3: 在同一信道下, 权重 w 越大感知效率越大. 即若系统设计时侧重于信道利用效率, 此时频谱感知效果越好. 但是, 所需的协作感知的认知无线电用户数目增加; 反之, 若侧重于系统资源利用效率, 协作感知的认知无线电用户数目减少了, 但是频谱感知效率下降. 所以, 在系统设计时, 应该根据具体情况进行适当调整, 从而获得所需的最优感知效率.

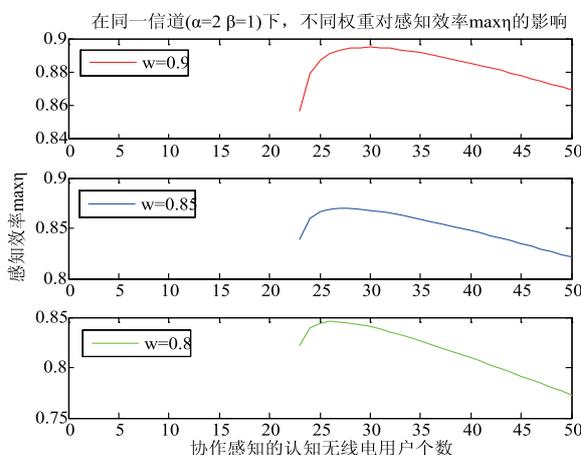


图 3 权重与感知效率 $\max \eta$ 的关系

由式(15)与文献[6]的式(27), 文献[7]的式(25)比较可知, 同样的信道状况下, 当系统所能忍受的干扰限度足够大时, 本文所提算法用于传输的时间 T 明显增大. 仿真比较如图 4.

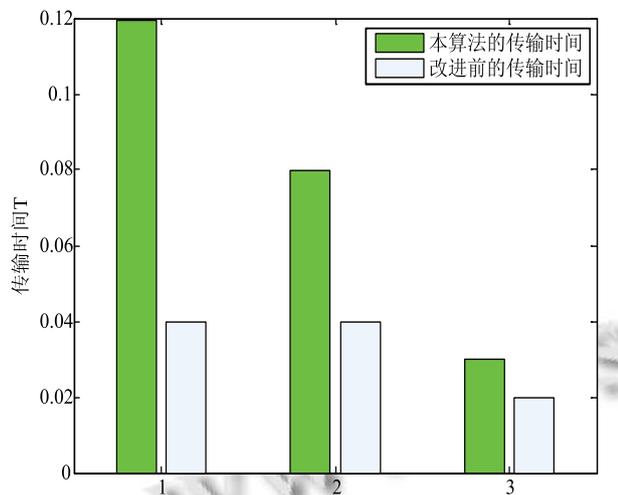


图 4 不同信道下不同算法的传输时间比较

5 结论

本文对协作频谱感知的参数优化进行研究. 数值计算和仿真表明, 本文的算法在避免对授权用户干扰的前提下, 能最优化认知无线电的感知效率, 并且当系统的抗干扰门限比较大时, 可以显著提高用于传输的时间 T .

本文只是研究了使单个授权信道的频谱感知效率最大化的方法, 针对多授权信道的频谱感知参数的优化方法有待进一步研究.

参考文献

- Joseph M. Cognitive radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio. Royal Institute of Technology (KTH), 2000.
- 郭云玮, 刘全, 高俊. 认知无线电中频谱感知技术的研究进展. 中兴通讯技术, 2010, 16(6): 39-43.
- Wang P, Zhong XF, Xiao LM, et al. Optimization of detection time for channel efficiency in cognitive radio systems. WCNC 2007. Hong Kong, 2007: 111-115.
- Kim H, Shin KG. Efficient discovery of spectrum opportunities with MAC-layer sensing in cognitive radio networks. IEEE Trans on Mobile Comput, 2008, 7(5): 533-545.
- 张宇, 冯春燕, 郭彩丽. 基于可变间隔的认知无线电频谱检测机制. 北京邮电大学学报, 2008, 31(2): 128-131.
- 宋敬群, 薛剑韬, 冯志勇, 等. 认知无线网络中合作频谱感知参数优化. 北京邮电大学学报, 2011, 34(1): 111-115.
- 胡晓宁, 胡捍英, 仵国锋. 认知无线电协作频谱感知机制的优化. 数据采集与处理, 2011, 26(6): 691-696.
- Zhang W, Mallik RK, Letaief KB. Cooperative spectrum sensing optimization in cognitive radio networks. IEEE International Conference on Communications. Beijing, China, 2008: 3411-3415.
- El-Saleh AA, Ismail M, Ali MAM. Optimizing Spectrum Sensing Parameters for Local and Cooperative Cognitive Radios. ICACT 2009: 1810-1815.
- 龙承念, 张新华, 王海峰. ICRN 功率分配与中继选择联合优化. 计算机应用, 2010, 30(11): 3072-3076.