

文章编号: 1672-2892(2012)05-0547-04

基于信任度与信噪比的认知无线电协同频谱检测

唐春菊, 刘衍平

(攀枝花学院 电气信息工程学院, 四川 攀枝花 617000)

摘 要: 无线网络中存在信噪比较高的恶意认知用户的情况, 为了有效利用可靠的认知无线电(CR) 技术用户的本地感知结果, 提出了一种基于信任度的信噪比比较协同频谱感知算法, 可有效剔除认知网络中存在的信噪比较高的恶意认知用户。仿真实验表明, 在存在恶意认知用户的认知无线网络中, 该算法检测性能优于传统的或准则(OR)数据融合的协同频谱感知算法以及基于信噪比比较协同频谱感知算法。

关键词: 认知无线电; 数据融合; 信任度; 协同频谱感知

中图分类号: TN914; TP56

文献标识码: A

Cooperative spectrum sensing based on trust degree and SNR in cognitive radio network

TANG Chun-ju, LIU Yan-ping

(Institute of Electronical and Information Engineering, Panzhihua University, Panzhihua Sichuan 617000, China)

Abstract: To make use of the local sensing results of Cognitive Radio(CR) users in the wireless network at the existence of baleful CR users with higher SNR(Signal to Noise Ratio), a cooperative spectrum sensing method based on trust degree and SNR comparison is proposed. It can reject the baleful CR users with higher SNR in CR network effectively. The simulation results show that the detection performance of the proposed algorithm is better than that of the cooperative Spectrum Sensing based on traditional Or Rule(OR) data fusion criterion and SNR comparison.

Key words: Cognitive Radio network; data fusion; trust degree; cooperative spectrum sensing

认知无线电技术^[1]能有效解决频谱资源紧缺, 频谱利用率低下等问题, 被认为是下一代无线通信网络的关键技术之一。其核心思想是: 认知无线网络中的 CR 用户能够感知自身周围环境, 学习无线环境背景知识, 通过实时改变某些操作参数等, 达到与授权用户合理共存, 共同有效利用频谱资源的目的^[2]。频谱感知是认知无线电的关键技术, 其主要功能是检测可供认知用户使用的频谱空穴, 同时监测授权用户信号的活动情况, 保证授权用户再次使用频谱时, 认知用户能够快速退出相应频段。近年来, 能量检测、匹配滤波、循环平稳特性检测等频谱感知技术被广泛研究^[3-5], 而基于能量检测的频谱检测技术以其算法简单, 不需要授权用户先验知识等优点被广泛应用, 但由于实际无线环境中存在阴影、多径等因素, 单个认知用户可能由于特殊的地理位置, 会出现较低检测概率, 无法准确检测到授权系统信号, 从而加剧对授权用户的干扰。如果多个认知用户通过协作方式对授权用户信号进行检测, 由于参与协作的认知设备全部受到阴影遮挡的可能性较小, 所以能提高系统检测性能。因此, 基于多节点的协同感知方法近年来受到广泛关注^[6-10]。本文针对当认知网络中存在信噪比较高的恶意 CR 用户时, 基于 SNR 比较的协作 OR 频谱感知^[7]性能会迅速下降的情况, 结合信任度的思想^[8-11], 提出了一种基于信任度的信噪比比较协同频谱感知算法。

1 基于能量检测的协同感知系统模型

1.1 能量检测

能量检测是一种常用的信号检测方法, 它通过测量一段时间(频域或时域)内的接收信号总能量来判决是否有

授权用户信号出现, 因其实现简单, 计算复杂度低, 被普遍采用, 并在 IEEE802.22 的标准中被建议采纳。假设认知无线网络中 K 个认知用户参与授权用户信号检测, 对每个认知用户的频谱感知问题可以用二元假设来描述:

$$y(n) = \begin{cases} u(n), & H_0 \\ s(n) + u(n), & H_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $n=1,2,\dots,N$, 为采样点数; H_0 表示信道处于空闲状态; H_1 表示授权用户正在使用信道; $y(n)$ 为认知用户的接收信号; $s(n)$ 为授权用户信号, 且均值为 0, 方差为 σ_s^2 的独立同分布随机过程; $u(n)$ 为均值为 0, 方差为 σ_u^2 的高斯独立同分布随机过程。能量检测的判决统计量 $T(y) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |y(n)|^2$ 服从 N 个自由度的中心卡方分布。当 N 足够

大时, $T(y)$ 趋近于正态分布, 即 $T(y) \sim N\left(\sigma_y^2, \frac{2\sigma_y^4}{N}\right)$, 如果假设判决统计量的门限为 λ , 则虚警概率和检测概率分别为^[6]:

$$P_f = Q\left(\frac{\lambda - \sigma_u^2}{\sqrt{2\sigma_u^4/N}}\right) = Q\left[\left(\frac{\lambda}{\sigma_u^2} - 1\right)\sqrt{\frac{N}{2}}\right] \quad (2)$$

$$P_d = Q\left(\frac{\lambda - (\sigma_u^2 + \sigma_s^2)}{\sqrt{\frac{2(\sigma_u^2 + \sigma_s^2)^2}{N}}}\right) = Q\left[\left(\frac{\lambda}{\sigma_u^2} - 1 - R_{SN}\right)\sqrt{\frac{N}{2(R_{SN} + 1)^2}}\right] \quad (3)$$

式中 $R_{SN} = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_u^2}$ 为检测器的接收信噪比, 当采用恒虚警准则时, 判决门限为:

$$\lambda = \sigma_n^2 \left(1 + Q^{-1}(P_f) \sqrt{\frac{2}{N}}\right) \quad (4)$$

1.2 基于 OR 准则的数据融合

在信息融合中心, 汇总后的检测信息根据一定的决策规则, 将对授权用户是否出现作出最终的判定。常见的决策规则有 OR 规则、AND 规则(and criterion)、K-out-of-N 规则。本文以常用的 OR 规则对各认知用户的单独判决结果进行最终判决。在 OR 规则中, 只要有 1 个 CR 用户判决授权用户存在, 则最终判决授权用户存在, 其优点是可最大化保护授权用户免受 CR 用户由于漏检而造成的有害干扰。在假设 K 个 CR 用户合作的认知网络中, 经过 OR 规则进行最终判决后的检测概率和虚警概率分别为:

$$Q_d = 1 - \prod_{i=1}^K (1 - P_{d,i}) \quad (5)$$

$$Q_f = 1 - \prod_{i=1}^K (1 - P_{f,i}) \quad (6)$$

2 协同频谱检测性能分析

2.1 基于信噪比较的协同频谱感知性能

由于参与协同检测的用户有时处于深度衰落或遮挡等原因, 无法对授权用户信号做出有效检测, 这些用户是不可靠用户, 它们的判决结果对协同检测的结果会造成严重影响, 因此把这些不可靠用户的检测结果忽略, 采用部分融合的方法可以提高系统的检测性能^[6]。文献[7]提出了一种基于融合中心进行信噪比(SNR)比较的认知无线电协作频谱检测算法, 各认知节点将本地的判决结果和估计到的 SNR 传到融合中心, 然后在融合中心对 SNR 进行比较, 最后选择信噪比较好的几个 CR 用户的判决结果进行融合, 该方法能有效提高检测概率, 并减少参与判决的节点数量。图 1 是在无恶意认知用户和有恶意认知用户 2 种情况下对基于信噪比较的部分 OR 协同和传统 OR 准则协同性能进行的仿真比较。在图 1(a)中, 假设有 7 个 CR 用户, 其信噪比设置见本文第 4 节, 可以看出基于 SNR 比较的部分 OR 协作性能明显优于传统的 OR 协同频谱感知。但当网络中增加 3 个具有较高信噪比的

恶意 CR 用户后,如图 1(b)所示,基于 SNR 比较部分 OR 协作性能迅速下降,选择 2 个信噪比较大的 CR 用户协同感知时性能明显低于传统 OR 协同频谱感知性能,而选择 4 个和 6 个较高信噪比的 CR 用户参与协同感知时,性能较好,但仍然低于传统 OR 协同频谱感知性能。说明在存在恶意 CR 节点的认知网络中,基于 SNR 比较的 OR 协作频谱感知性能的优势丧失,有待改进。

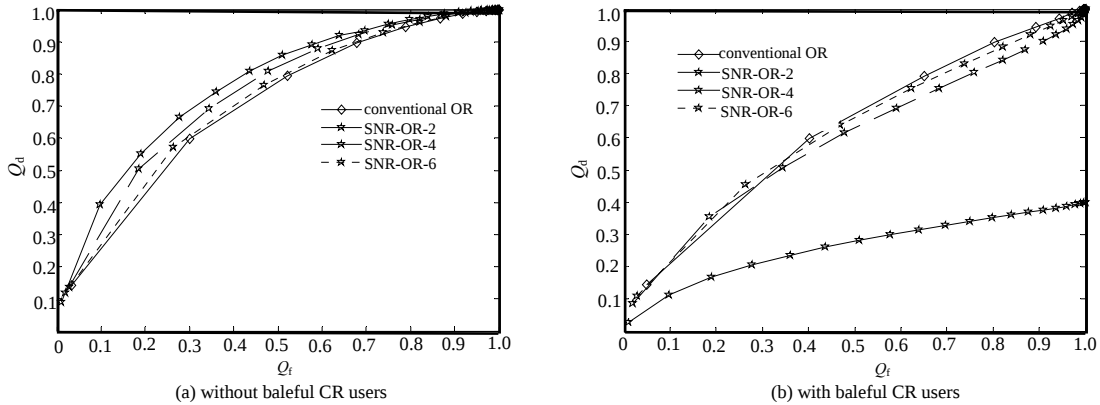


Fig.1 Fusion performance comparison between OR fusion based on SNR and conventional OR
图 1 基于 SNR 比较 OR 融合与传统 OR 融合性能比较

2.2 基于信任度和信噪比的协同频谱感知

针对存在恶意 CR 节点的认知网络,基于 SNR 比较的 OR 协作频谱感知性能严重下降,借鉴文献[8]中的信任度的思想,将恶意节点有效排除,然后再从剩下的 CR 节点选出 SNR 较大的用户的本地判决结果进行最终判决。某 CR 用户的信任度定义为:该 CR 用户的本地判决结果和认知网络融合中心的最终判决结果一致时,该 CR 用户的信任度加 1,否则减 1,初始时,每个 CR 用户的可信度设为 1^[8]。基于以上分析,本文提出基于信噪比比较和信任度的频谱感知方法,根据一定的虚警概率,融合中心将信噪比较高但信任度较低的认知用户剔除,然后再选取信噪比较高的 CR 用户的本地判决结果进行最终判决,其检测步骤如下:

- 1) 根据每个 CR 用户的信任度进行比较,融合中心对网络中所有 CR 用户按信任度由高至低排序,构成信任度列表。
- 2) 根据 CR 用户发送来的 SNR 进行比较,融合中心对网络中所有 CR 用户按 SNR 由高至低排序,构成 SNR 列表。
- 3) 设 CR 用户 i 在信任度列表和 SNR 列表中的序号分别为 $n_t(i)$ 和 $n_s(i)$,信任度列表和 SNR 列表中的序号是由小到大设置,即 SNR 越高在表中的序号越小,信任度越高在表中的序号越小,如果 $n_t(i) - n_s(i) > \beta$,则将该 CR 用户从 SNR 列表中剔除, β 为正整数,可根据实验调整。
- 4) 最后融合中心从步骤 3)得到的 SNR 列表中选出 K 个具有较高 SNR 的 CR 用户的本地判决结果进行最终判决。

3 仿真结果及分析

仿真中假设认知网络中有 10 个 CR 用户,1 个授权用户,10 个 CR 用户中有 3 个恶意 CR 用户,且它们始终发送判决结果 0,因为这对授权用户正常通信危害最大^[8]。授权用户信号为 BPSK 信号,假设理想信噪比估计,7 个正常 CR 用户的 SNR 分别为: -24 dB, -22 dB, -20 dB, -18 dB, -16 dB, -14 dB, -12 dB, 3 个恶意 CR 用户的信噪比从 -18 dB, -16 dB, -14 dB, -12 dB, -10 dB, -8 dB, -6 dB 中随机选取, β 设置为 2,每个认知用户在检测时间内采样 2 048 次,200 次蒙特卡罗实验仿真结果见图 2。

当认知网络中存在影响正常检测性能的恶意认知用户时,如果不排除信噪比较高的恶意 CR 用户,从网络中选择 2 个 SNR 较大的 CR 用户的本地判决结果做 OR 判决,性能最差,这是因

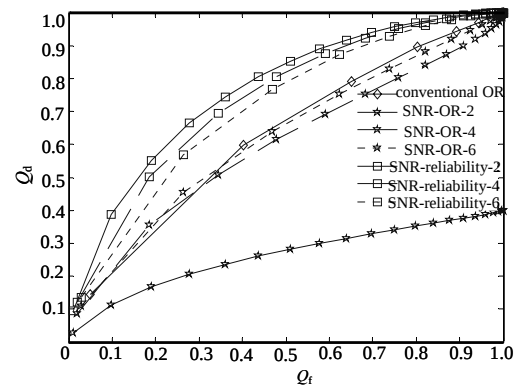


Fig.2 Cooperative spectrum sensing performance based on trust degree and SNR

图 2 基于信任度和 SNR 协同频谱感知性能

为系统中有 3 个较高的恶意用户,很可能选择它们,而从中选择 4 个或 6 个较大 SNR 的 CR 用户的本地结果做最终判决的时候,性能基本相同,比选择 2 个的情况好,但由于恶意用户的影响,在多数情况下比传统的 OR 协同判决差。而通过信任度列表和 SNR 列表比较,将在 2 表中序号相差大于 2 的用户从 SNR 列表中剔除,再从 SNR 列表中选择几个较大 CR 用户的本地判决结果做最终判决的性能均优于传统 OR 协作感知的性能。其中选择 2 个较大 CR 用户的本地判决结果做最终判决的最好,选择 4 个较大 CR 用户的情况次之,选择 6 个较大 CR 用户的情况最差,这是因为,网络中的正常 CR 用户的信噪比相差较大,选择参与协同感知的用户数增加后,会拉低整体的检测性能。说明在存在恶意 CR 用户的认知网络中,结合信任度的信噪比比较的 OR 协同频谱检测性能得到明显改善,降低了对授权用户的干扰。

4 结论

在认知无线网络中,为了提高系统的整体检测性能,研究如何有效地利用信噪比较高的可靠 CR 用户的本地感知结果十分必要。本文首先分析了基于信噪比比较协同频谱感知在无恶意认知用户和有恶意认知用户下的检测性能,并提出了一种基于信任度的信噪比比较协同频谱感知算法,给出了算法的详细步骤,并通过仿真实验验证了算法的有效性。

参考文献:

- [1] Mitola J, Maguire G O. Cognitive radio: Making software radio more personal[J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(4):13-19.
- [2] Haykin S. Cognitive radio: Brain-empowered wireless communication[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(2):201-220.
- [3] QUAN Zhi, CUI Shuguang, Sayed Ali H. Optimal linear cooperation for spectrum sensing in cognitive radio networks[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2008, 2(1):28-40.
- [4] Kay S M. Fundamentals of statistical signal processing: detection theory[M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1988.
- [5] Cabric D, Tkachenko A, Brodersen R W. Experimental study of spectrum sensing based on energy detection and network cooperation[C]// Proc. ACM 1st Int Workshop on Technology And Policy for Accessing Spectrum (TAPAS), Boston: [s.n.], 2006:230-234.
- [6] 林威, 吴捷, 张钦宇, 等. 基于认知无线电系统合作检测的数据融合研究[J]. 通信学报, 2009, 30(10):135-140.
- [7] 郑轶, 谢显中, 杨黎丽. 基于 SNR 比较的认知无线电协作频谱检测[J]. 电讯技术, 2009, 49(8):13-17.
- [8] 章磊, 黄光明. 基于信任度的认知无线电协同频谱检测[J]. 计算机应用, 2010, 30(9):2019-2021.
- [9] SUN Chunhua, ZHANG Wei, Letaief K B. Cooperative spectrum sensing for cognitive radio under bandwidth constraints[C]// Proc. IEEE WCNC. Kowloon: [s.n.], 2007:1-5.
- [10] 张迎晓, 杨涛, 胡波, 等. 基于 Dec-POMDP 的认知无线网络频谱接入算法[J]. 信息与电子工程, 2010, 8(6):720-725.
- [11] 余晓航, 李磊民, 黄玉清. 基于粗糙集和决策树法的认知无线电知识挖掘[J]. 信息与电子工程, 2010, 8(5):607-611.

作者简介:



唐春菊(1984-), 女, 四川省南充市人, 硕士, 助教, 主要从事认知无线技术及图像处理研究. email: tangchunju@126.com.

刘衍平(1981-), 男, 四川省资阳市人, 硕士, 助教, 主要从事超宽带及认知无线技术研究.