

基于高效协作感知算法的认知无线电研究 *

张 俊, 朱 军, 李夏林, 项冰冰

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 合肥 230039)

摘 要: 针对协作频谱感知中感知开销过高问题,提出了一种联合考虑选择最佳的感知节点数以及感知的信道数来降低协作感知开销的方法。该算法分析了协作感知算法中感知节点数、感知的授权信道数与协作感知精度以及感知开销之间的关系。仿真结果表明,与其他算法相比,该算法能够有效地降低感知开销并提高系统的感知性能,验证了该算法的有效性。

关键词: 认知无线电; 协作感知; 感知开销; 能量检测; 满意度

中图分类号: TN92 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)02-0730-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.02.088

Research on efficient cooperative spectrum sensing algorithm in cognitive radio

ZHANG Jun, ZHU Jun, LI Xia-lin, XIANG Bing-bing

(Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal Processing of Ministry of Education, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: Concerning the problem of high sensing overhead in the cooperative spectrum sensing, this paper proposed a method that can choose the best number of sensing nodes and channels to reduce the sensing overhead. The algorithm analyzed the number of users, the number of licensed channels, cooperative sensing precision, sensing overhead and their relations. Compared with other algorithms, simulation results show that the proposed algorithm can reduce the sensing overhead and improve the cooperative sensing of performance, which prove the effectiveness of this method.

Key words: cognitive radio; cooperative sensing; sensing overhead; energy detection; degree of satisfaction

0 引言

由于无线通信技术的快速发展以及人们对无线通信需求的增加,频谱资源越来越稀缺,已成为无线通信发展的巨大瓶颈。但大量科研人员的研究却表明,目前频谱资源稀缺是由频谱资源未得到充分利用,存在大量“频谱空洞”所导致的。认知无线电(CR)技术能利用暂时空闲的授权频段,被认为是解决当前无线频谱资源稀缺的最有效及可靠的技术,已经越来越受到人们的关注^[1,2]。

频谱感知作为一种快速而方便的频谱识别方式,成为人们研究认知无线电技术的焦点。于是,人们开发了很多种不同的频谱感知方法,其中,协作感知被认为是一种在不提高单个认知用户感知性能的前提下增加感知结果可靠性的有效途径。但是,同时也由于多个用户同时参与感知过程而带来感知开销的增加。文献[3]中,Mansouri 等人提出了一种迭代式协作感知方法,该方法首先确保认知系统的感知精度在初级系统允许范围内,通过最小化协作感知的节点数目,降低资源消耗。文献[4]给出的算法推导了在信噪比相近的情况下,为达到最大效率利用资源所需要的最优感知用户数目,以降低系统感知开销,但是计算公式较复杂并且仅局限于采用与、或准则的协作感知算法。文献[5]通过一种迭代式协作计算方法在感知精

度满足一定要求的同时,计算出了参与感知的最优化节点数目,从而达到非常好的系统增益,并且大大降低了算法复杂度,但却没有考虑授权信道数对系统性能的影响。文献[6]提出了一种本地感知采用基于双阈值能量检测的改进型协作感知算法。针对上述问题,本文提出了一种联合考虑选择最佳的感知节点数以及感知的信道数来降低协作感知开销的方法,确定优化的感知用户数以及每次感知的信道数,以降低系统的感知开销,达到高效协作感知的目的。

1 认知无线电系统模型

1.1 本地频谱感知

本地感知用户对授权信道的检测采用基本的发射机检测,接收信号模型为

$$\begin{cases} x(t) = n(t) & H_0 \\ x(t) = h(t) \times s(t) + n(t) & H_1 \end{cases} \quad (1)$$

其中: $s(t)$ 为发射信号, $h(t)$ 表示信道增益, $n(t)$ 表示加性高斯白噪声, H_0 、 H_1 分别为主用户释放和占用信道两种状态。

一般来说,能量检测的虚警概率 pf 、漏警概率 pm 只与环境噪声和信噪比有关,当信道增益不同时,其感知精度也会不同,从而对协作感知整体性能产生影响。因此,针对高斯白噪

收稿日期: 2011-05-15; **修回日期:** 2011-06-23 **基金项目:** 安徽省高等学校省级自然科学研究重点项目(KJ2010A020);安徽大学“211”工程三期教学质量工程经费资助项目(40010014);安徽大学研究生创新强化项目(yqh090076)

作者简介: 张俊(1985-),男,安徽六安人,硕士,主要研究方向为认知无线电技术(zhangjunahu@126.com);朱军(1968-),女,副教授,博士,主要研究方向为网络通信与信号处理;李夏林(1987-),男,硕士,主要研究方向为认知无线电;项冰冰(1980-),女,讲师,主要研究方向为光通信网络与信号处理。

a) 如何确定最小的参与感知的节点数 x 以及信道数 y , 以保证感知到的空闲信道数能够满足感知用户的需求即 $K_1 > n$, 并且同时使得感知开销 $C(x, y)$ 尽可能小。 n 表示系统根据业务多少需求的信道数。

b) 在 m 个信道中选取 n 个信道, 如何保证选到的信道不是 K_2 类的信道。

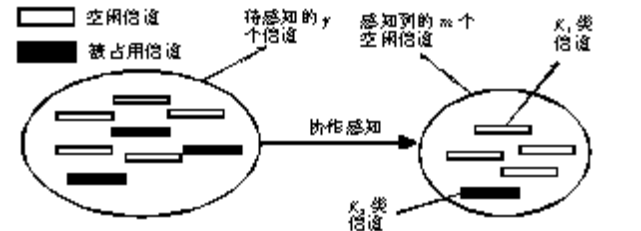


图 2 信道感知过程

为了解决上面提出的两个问题, 本文提出了一个新的概念——满意度。满意度定义为从感知到的 m 个信道中选取 n 个信道, 恰好此 n 个信道都是 K_1 类信道的概率, 如图 3 所示。

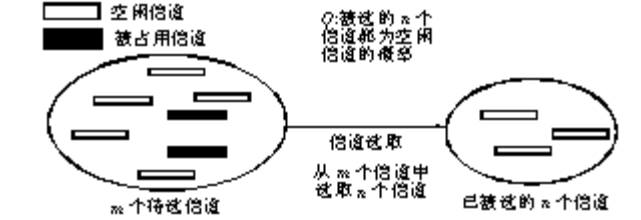


图 3 满意度定义

满意度越大说明系统的感知性能越好。满意度的计算可以根据概率论知识进行近似计算, 如下:

$$Q = \left(\frac{K_1}{K_1 + K_2} \right)^n \tag{10}$$

其中: $K_1 \geq n$, 保证次级用户的需求, 只要限定 Q 的范围就可以初步确定节点数 x 与信道数 y 的范围。为保证不对授权系统产生干扰, 设限定 Q 的范围为 $Q \geq 95\%$ 。将满足式(10)的 x, y 代入式(6)中, 找出有最小感知开销的一组 x, y , 将其作为优化的感知节点数及信道数。本文提出了两个限制条件以缩小穷举法搜索满足条件的 x, y 的范围, 也就是首先计算出初始最小节点数 $\min x$ 以及最小信道数 $\min y$:

$$\text{限制条件 1: } P_e \leq 0.1 \tag{11}$$

$$\text{限制条件 2: } y \times (1 - P_{an}) \geq n \tag{12}$$

式(11)表示认知系统的误检概率要保持在 10% 以下, 而式(12)则是为了保证能够有足够的空闲信道提供给认知用户。故通过式(11)和(12)分别可以计算出初始 $\min x, \min y$, 从而减少感知开销, 达到高效利用资源的目的。将其定为算法 1, 流程如图 4 所示。其中 N, M 为网络总节点数以及信道数。

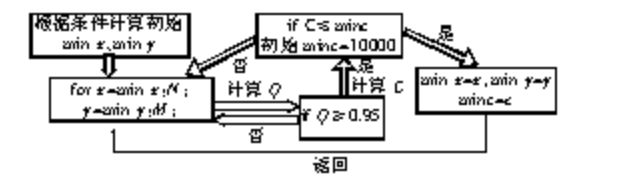


图 4 最小节点数和信道数算法流程图

上述算法存在特殊情况, 即不满足 $Q \geq 95\%$, 将此情况设为算法 2, 如图 5 所示。当不满足 $Q \geq 95\%$ 时, 则选择有最大 Q 值的信道数以及节点数作为最后优化的节点数以及信道数, 只有当满足 $Q \geq 95\%$ 的节点数和信道数 y 时, 立即结束算法 2, 执

行算法 1。可知, 算法 2 是 1 的补充。通过上述两种算法, 可以找出优化的节点数以及信道数。

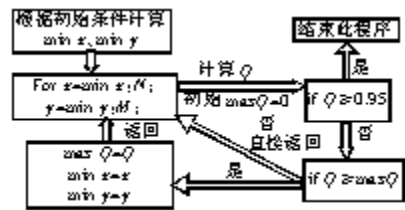


图 5 进一步优化节点数和信道数算法

3 仿真结果及性能分析

3.1 仿真结果及参数设定

在两种不同信道条件下, 将提出的高效协作感知算法对主用户信号的感知性能与其他协作感知算法进行比较。两种信道中, 主用户的信号幅度分布不同, 如在瑞利衰减信道中服从指数分布, 而在高斯白噪声信道中服从高斯分布。参数设置如表 1 所示。

表 1 仿真参数设置			
次级用户数	授权信道数	信噪比 (SNR)	单节点判决门限
30	20	3 ~ 10 dB	7

3.2 高斯白噪声及瑞利衰减信道仿真结果比较

3.2.1 最佳信道数和节点数

图 6、7 所示分别为高斯白噪声信道和瑞利衰减信道下, 所提出的高效协作感知算法在不同条件下选择的优化节点及信道数。由本文所提的算法可知, 优化节点数和信道数是由 Q, C 值共同决定的。通过仿真发现, 当信道占用率 P_{on} 较小时, 有较多组 x, y 满足 $Q \geq 95\%$ 的条件, 算法依据 C 值确定最终优化 x, y , 故此时优化 x, y 值较小。随着 P_{on} 的增大, 空闲信道数减少, 算法主要依据 Q 值确定优化 x, y , 此时需要更多的 x, y 满足感知用户业务需求。通过比较两图可知, 瑞利衰减信道下的感知性能在同等环境下选择的优化节点数较多。

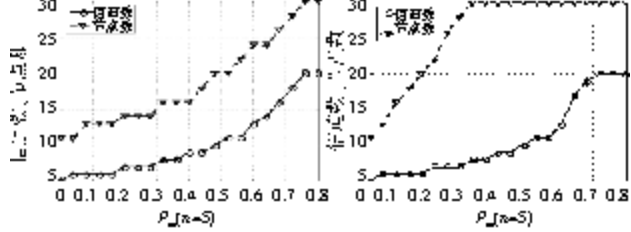


图 6 高斯白噪声信道中信道数与节点数变化

图 7 瑞利衰减信道中信道数与节点数变化

3.2.2 感知开销

图 8、9 给出了在高斯白噪声信道和瑞利衰减信道下, 不同算法进行协作感知时所带来的感知开销比较。比较了三种不同的协作感知算法: 传统协作感知算法、文献[10]提出的优化协作感知算法以及本文提出的高效协作感知算法。可以看出, 由于选择了优化的节点数及信道数, 本文提出的高效协作感知算法在感知开销方面有很大的优势, 特别是在授权信道占用率低时更加明显。从图中也可以看出, 传统协作感知确实造成了巨大的感知消耗; 文献[10]中提出的方法仅对节点数进行优化, 虽然也能降低感知开销, 但效果没有本文提出的高效协作感知方法显著。

3.2.3 感知精度

图 10、11 给出了三种算法在误检概率方面的比较。从图

可以看出,三种算法的误检概率几乎相同,传统协作感知算法稍有优势,相比本文提出的高效协作感知方法和文献[10]中提到的方法都要好。这是因为在传统协作感知方法每次感知网络中的所有节点都会参与,因此能够得到较好的感知结果。

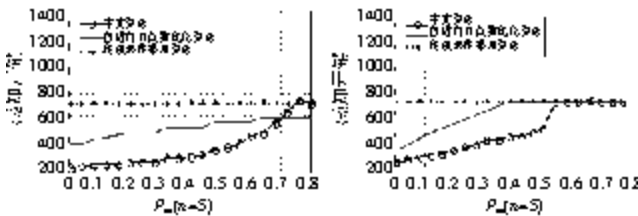


图 8 高斯信道中三种算法感知开销比较

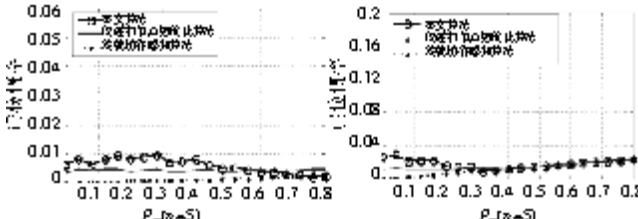


图 10 高斯信道中三种算法检测精度比较

从以上的分析可以看出,在高斯白噪声信道和瑞利信道条件下,本文提出的高效协作感知算法不仅能够自适应地选择合适的信道数以及节点数,而且还能在牺牲少许检测精度的情况下获得较大的感知开销增益,使得感知开销相对于其他协作感知算法有较大的降低。

4 结束语

本文主要介绍针对协作感知算法面临的问题所作出的改进方法,提出了高效利用资源的协作感知方法。通过仿真对提出的高效协作感知方法的性能进行了分析,结果表明,无论是

(上接第 729 页)应用,通过其在大科学数据传输网络测量与分析过程中的效能评价,将各功能模块作进一步改进,并推广到更多应用中。

参考文献:

[1] National e-Science Centre [EB/OL]. (2011-03-05). <http://www.nesc.ac.uk>.

[2] 孟洛明,谢高岗,邱雪松,等. IP 网可测可控可管的研究现状和若干重要发展趋势[J]. 通信学报, 2008, 29(12): 96-101.

[3] 杨家海,吴建平,安常青. 互联网网络测量理论与应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2009.

[4] YANG Jia-hai, ZHANG Hui, ZHANG Jin-xiang, et al. Towards next generation Internet management: CNGI-CERNET2 experiences [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2009, 24 (3): 482-494.

[5] SONG H H, QIU Li-li, ZHANG Yin. NetQuest: a flexible framework for large scale network measurement [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2009, 17(1): 106-119.

[6] SIMON C, RICHARD H J, STEPHEN K, et al. Real time data transfer for very long baseline interferometry [C]//Proc of IEEE Real Time Conference. 2007: 1-4.

[7] LUIS M V, LUIS R M, JUAN C, et al. A break in the clouds: towards a cloud definition [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2009, 39(1): 50-55.

[8] ARDISSONO L, GOY A, PETRONE G, et al. From service clouds to

在高斯白噪声信道中还是在瑞利衰减信道中,该方法能够在保证系统感知精度的基础上,通过选择优化的节点数、信道数,使得系统的感知开销最小化,达到高效节能的目的。

参考文献:

[1] CHIANG R I C, ROWE G B, SOWERBY K W. A quantitative analysis of spectral occupancy measurements for cognitive radio [C]//Proc of VTC Spring IEEE. 2007: 3016-3020.

[2] MITOLA J III, MAGUIRE G Q JR. Cognitive radio: making software radios more personal [J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(4): 13-18.

[3] MANSOURI N, FATHI M. Simple counting rule for optimal data fusion [C]//Proc of IEEE Conference on Control Applications. 2003: 1186-1191.

[4] 吴素文,彭霄,赵明. 一种低复杂度的最大化资源效用的最优感知节点数目优化算法[J]. 中国科学技术大学学报, 2009, 39(10): 1059-1063.

[5] 彭霄,吴素文,朱近康. 一种高效利用资源的协作感知方法[J]. 中国科学技术大学学报, 2009, 39(10): 1039-1044.

[6] 朱江,黄本雄,王芙蓉,等. 认知无线网络中一种新型协作频谱感知算法[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(2): 193-197.

[7] DIGHAIM F F, ALOUINI M, SIMON M K. On the energy detection of unknown signals over fading channels [J]. IEEE Trans on Communications, 2007, 55(1): 21-24.

[8] BLASCHKE V, JAEKEL H, RENK T, et al. Occupation measurements supporting dynamic spectrum allocation for cognitive radio design [C]//Proc of Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications Conference. 2007: 50-57.

[9] HAMDAOUI B. Adaptive spectrum assessment for opportunistic access in cognitive radio networks [J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2009, 8(2): 922-930.

[10] ZHANG Wei, MALLIK R K, BEN L K. Cooperative spectrum sensing optimization in cognitive radio networks [C]//Proc of IEEE International Conference on Communications. 2008: 3411-3415.

user-centric personal clouds [C]//Proc of IEEE International Conference on Cloud Computing. 2009: 1-8.

[9] TU C, KUO W, WANG Y, et al. E2CC-building energy efficient class cloud using DRBL [C]//Proc of the 10th IEEE/ACM International Conference on Grid Computing. 2009: 189-195.

[10] LIU Zhen, ZHOU Mao-wei, HUANG Hong-bin, et al. Study on semantic-oriented hybrid indexing strategy of resource metadata in peer-to-peer network [J]. Journal of Zhejiang University Science A, 2007, 8(1): 88-94.

[11] 杜建清,黄少君,杨家海. 网络测量协作柔性支撑平台 [J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(9): 50-52.

[12] W3C Working Group Note. Web services architecture [EB/OL]. (2004-02-11). (2011-03-05). <http://www.w3.org/TR/2004/NOTE-ws-arch-20040211/>.

[13] China science & technology network [EB/OL]. (2011-03-05). <http://www.cstnet.cn>.

[14] XU Da-wei, QIAN De-pei, LUAN Zhong-zhi, et al. A new P2P-like architecture for large scale end to end network measurement [C]//Proc of International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies (ICNICON-SMCL). 2006: 62-67.

[15] BRANDAUER C, THOMAS F. MINER: a measurement infrastructure for network research [C]//Proc of Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities and Workshops. 2009: 1-9.