

基于数据融合理论的分布式协作频谱感知方法研究

张楠¹, 李 娴², 胡中豫¹, 孙 强¹

(1 重庆通信学院, 重庆 400035; 2 西安通信学院, 陕西 西安 710106)

摘 要: 频谱感知是认知无线电的一个独有特征, 是认知无线电的两大核心技术之一. 文中通过对比各种频谱感知方法论证了分布式协作感知方法的优越性, 提出了基于数据融合理论的分布式协作频谱感知方法.

关键词: 认知无线电; 数据融合; 分布式协作检测; 频谱感知

中图分类号: TN98

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)03-0133-03

Research on Distributed Cooperative Spectrum-aware Based on Data Fusion

ZHANG Nan¹, LI Xian², HU Zhong-yu¹, SUN Qiang¹

(1 Chongqing Communication Institute of PLA, Chongqing 400035, China;

2 Xi'an Communication Institute of PLA, Xi'an 710106, China)

Abstract: Spectrum-aware which is one of two cognitive radio main core technologies, is a unique feature of cognitive radio. Through the comparison of many spectrum-aware methods, we find that the distributed cooperative method of spectrum-aware is better than the others, and give a method of distributed cooperative spectrum-aware based on data integration.

Key words: cognitive radio; data fusion; distributed cooperative; spectrum-aware

1 引言

认知无线电 (Cognitive Radio, CR) 作为一种革命性智能频谱共享技术, 可显著提高频谱的使用率, 较好解决了频谱资源的稀缺问题, 因此近年来受到了人们越来越广泛的关注. 在认知无线网络 (Cognitive Radio Network, CRN) 中, 通常称频段的许可持有者为主用户, 而具有认知功能的非授权用户为从用户或 CR 用户. 它能自动感知所处的频谱环境, 智能的学习并实时调整编码、信道协议及带宽等传输参数, 实现对已分配给授权用户但未被占用频谱空穴的接入. 如何采用频谱检测技术准确地识别频谱空穴、检测授权用户出现, 是组建实际 CRN 网络首要解决的问题.

由于单点检测很难准确地检测出信噪比大于某一门限值的授权用户信号, 从而使得频谱感知变得很

困难. 为此, 人们提出了协作频谱感知, 此方法通过数据融合, 基于多个节点的感知结果进行综合判决. 协同频谱感知利用了多个用户各自的检测结果, 即使很少数目经受独立衰落的用户 (10~20) 进行协同协作, 也可以很有效地达到检测门限, 从而极大程度上减少了单个用户检测的困难程度. 鉴于此因, 文中将系统论述基于数据融合理论的分布式协作频谱感知方法.

2 认知无线电频谱感知技术比较

频谱感知是认知无线电的一个独有特征, 是认知无线电的两大核心技术之一, 它为后面的动态频谱接入可用频段提供了前提. 目前, 在感知无线电系统中, 从参与检测的是单个用户还是多个感知用户进行协作的角度将频谱感知方法分为本地频谱检测 (Local Sensing) 和协作检测 (Cooperative Sensing). 其中本地频谱检测按认知无线电体系机构分为物理

层检测和 MAC 层检测,按检测位置分为主用户发射端检测和主用户接收端检测,而匹配滤波器检测、接收信号能量检测、循环平稳特征检测属于主用户发射端检测也都属于物理层检测;本地振荡器的能量泄漏检测和基于干扰温度的检测属于用户接收端检测.协作频谱检测按照其组织方式又可分为集中式的和分布式的.结合文献^[1-2],对比一下各种主要检测方法,如表 1 所示.

表 1 各种频谱感知方法优略比较

感知方法	感知类型	优点	缺点
匹配滤波器检测	主用户发射端检测	能使信噪比最大化,同时达到较高的处理增益所需时间比较少	为相干检测,对相位同步要求很高
能量检测		不需要知道信号的先验知识,在实现上非常简单	判决门限难确定;低信噪比时,信号淹没在噪声中,该方法局限性很大;无法判断出检测到的是噪声还是其他的从用户
循环平稳特征检测		具有较高的信号辨识能力	仅仅是对傅立叶频谱的补充;计算量很大,约为 DFT (Discrete Fourier Transform) 的两倍;观测时间较长
小波分析检测		频谱边界检测	对存在干扰及信噪比低的信号不适用
多窗谱估计	本地频谱检测	性能接近最佳方法	计算复杂度高
本地振荡器功率泄漏检测		主用户进行主动检测,检测灵活	相位同步是关键,对检测技术要求很高
基于干扰温度检测		通过划定干扰温度界限,可寻找频谱接入机会,使主用户系统覆盖范围减少	感知用户在目前工作效率已经很高的主用户系统中以共享频谱的方式接入工作的有效性并不高;共享情况下,在很多情况下存在困难
集中式		提高了检测概率和误警概率,感知速度快;解决隐终端问题和阴影效应.其中分布式感知更能提高检测性能和可靠性,从而减低对单一检测器的苛刻要求	机制复杂,开销大,需要控制信道;还没有成型的规范体系
分布式	协作感知		

通过表 1 可以看出,在检测性能上分布式的协作频谱感知即可提高检测概率和可靠性,文中将具体阐述分布式协作感知方法.

3 基于数据融合理论的分布式协作频谱感知方法研究

实现频谱的协作检测通常采用两种方式:(1)采用分布或集中式数据融合技术,将 CR 用户各自独立获取的检测数据进行融合处理后完成频谱决策;(2)采用空间协作分集协议,通过多路信号的分集合并实现频谱的可靠检测.文中主要讨论基于数据融合理论的分布式协作频谱感知方法.

3.1 分布式协作感知方法模型

假设有 N 个感知终端(CR) $T_i(i=1,2,\cdots,N)$ 组成的 CRN,各感知用户独自通过观察分析外部频谱环境,寻找频谱资源以提高本身频谱感知能力.每个感知终端通过各自得感知模块学习来自无线信道的频谱信息,并通过各自得分析模块独自得出的感

知结论,最后与其他各用户得出的结论进行数据融合,最终得出决策.图 1 是以两个感知终端为例,给出的分布式协作感知方法模型.

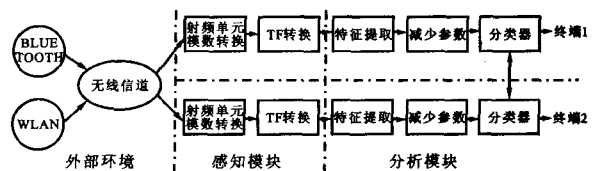


图 1 两个感知终端的分布式协作频谱感知模型

3.2 分布式协作感知的检测性能

由于分布式协作检测采用数据融合方式,因此可降低对单个 CR 用户检测性能的要求.设共有 N 个 CR 用户协作检测,每个用户依据接收到的 $N-1$ 个用户的决策信息判决 H_0 或 H_1 .若采用“OR”判决规则^[3],协作后的虚警概率和检测概率分别为:

$$Q_d = 1 - (1 - P_d)^n \quad (1)$$

$$Q_f = 1 - (1 - P_f)^n \quad (2)$$

可见,协作检测性能 Q_d 和 Q_f 随着用户数 N 的

增加而增加.若在保证 Q_d 和 Q_f 一定的条件下,对单个 CR 用户检测性能的要求会随着 N 的增大而降低.当 $N \rightarrow \infty$,单个用户的 P_d 将趋近于零.

3.3 分布式协作感知的检测数据融合和决策的关键技术分析

在采用分布式协作检测方法的 CRN 中,需要采用分布式数据融合和决策技术,将来自多个 CR 用户的并行检测数据进行综合处理,并依据适当的判决规则,做出最终决策.

假设各个感知用户是在条件独立的环境下

$$f(Y | H_j) = \prod_{i=1}^N f(y_i | H_j) \quad (3)$$

进行的局部观测,则可以把条件独立的并行结构中分布检测与判决规则表示为:

$$\frac{f(y_k | H_1)}{f(y_k | H_0)} \underset{u_k=0}{\overset{u_k=1}{\geq}} \frac{\sum_u C_{FA}(u^k) \prod_{i=1, i \neq k}^N \int \Pr(u_i | y_i) f(y_i | y_k, H_0) dy_i}{\sum_u C_{DA}(u^k) \prod_{i=1, i \neq k}^N \int \Pr(u_i | y_i) f(y_i | y_k, H_1) dy_i} \quad (4)$$

可进一步简化为:

$$\frac{f(y_k | H_1)}{f(y_k | H_0)} \underset{u_k=0}{\overset{u_k=1}{\geq}} \frac{\sum_u C_{FA}(u^k) \prod_{i=1, i \neq k}^N \Pr(u_i | H_0)}{\sum_u C_{DA}(u^k) \prod_{i=1, i \neq k}^N \Pr(u_i | H_1)} \quad (5)$$

注意到式(4)的右边是常量,因此,此融合规则也可表示为:

$$\prod_{i=1, i \neq k}^N \frac{\Pr(u_i | H_1)}{\Pr(u_i | H_0)} \underset{u_1=0}{\overset{u_0=1}{\geq}} \frac{C_F}{C_D} \quad (6)$$

常规的分布式融合只将多个 CR 用户的局部决策信息以单比特形式传送到数据融合中心处理.但这些局部决策信息并不能充分反映所有 CR 用户的观测信息.事实上,每个 CR 用户可根据系统的传输能力传送多比特信息至融合中心,这就需要考虑除了传送单比特局部决策信息以外还需要传送哪些信息更利于最终决策.另外,CR 用户通常受信道环境、与授权用户的距离以及与相邻用户相关性等因素的影响,使融合的信息具有不确定性.上述情况都使数据的融合更加复杂,这时可采用基于 D-S 证据

理论的分布式融合算法.算法的基本思路是 CR 用户 i 不仅向融合中心传送局部决策 D ,还传信用度函数

$$m_i = f(d_i, \gamma_i, r_i) \quad (7)$$

式中, d_i 表示 CR 用户与授权用户的距离, r_i 表示用户 i 与其位置相邻最近用户的相关系数.融合中心根据各 CR 用户的判决及其可信度,得到最终决策

$$D_{\text{final}} = f(D_i, m_i) \quad (8)$$

如何自适应调整决策规则以及 m_i 自身的获取是需要研究的难点.采用协作检测的每个 CR 用户为了准确获取其信用度函数 m_i ,往往需要确定自己的位置信息,如果是个固定网络, r_i 、 d_i 等位置信息可在网络最初建设时确定;而对一个移动的网络,其位置信息需要及时更新,文献[4]提出通过智能天线的波束成形及 UWB (Ultra-Wide Band) 技术对运动中的 CR 用户进行定位的方法,这时可判断其运动趋势,为信用度函数的获取提供可靠的实时信息,使数据融合中心作出准确决策.

决策规则通常分为硬决策和软决策两类.软决策通过引入与决策相关的置信度测量,可依据贝叶斯、奈曼——皮尔逊等准则得到判决门限.而在硬决策中,主要依据观测数据选择单一假设进行决策,判决门限的选取成为一个关键问题.若采用能量检测,判决规则可表示为:

$$H_1: \sum_{i=1}^N B_i > \lambda_n; H_0: \sum_{i=1}^N B_i < \lambda_n \quad (9)$$

其中, B_i 为用户 i 所报告的判决结果,“0”、“1”分别表示未出现和出现授权用户, N 表示用户总数, λ_n 为系统的判决门限. $\lambda_n = 1$ 时,为“或”的判决规则; $\lambda_n = N$ 时,为“与”的判决规则;当 $\lambda_n = K$ 时,则成为 K -out-of- N 规则,即在 N 个 CR 用户中,有 K 个或更多于 K 个 CR 用户报告检测到授权用户信号时,融合节点判为 H_1 .对于任意的用户数 N ,最佳 λ_n 的确定直接决定检测性能的好坏.

4 结束语

目前认知无线电基于数据融合技术的分布式协作频谱检测相关研究还远不成熟,如考虑对于阴影衰落来说,在设计协作检测的相关协议和算法时,如何将相邻用户接收到的信号之间阴影的相关性考虑进去;若协作用户中存在不受信任的用户;或当两个或者多个 CRN 同时存在时如何通过竞争获得使用权等问题还有待进一步深入研究.

(下转第 139 页)

核,面积开销为 0.62mm²,而 MANGO 或 VCNoC 路由器连接 4 个 IP 核则需要 4 个路由器,面积开销分别为 0.76mm²(0.19×4)、0.60mm²(0.15×4).相比之下,VOQNoC 路由器以 3~4 倍 的面积代价获得连接 4 个 IP 核的好处,有效降低了全局互连的开销,从而降低了整个片上网络的面积^[6].

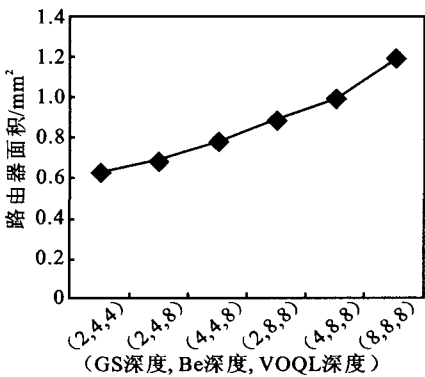


图 6 虚拟队列深度对路由器面积的影响

表 1 实现结果比较

NoC	交换技术	可连 IP 数	QoS 支持	工作频率 MHz	面积 mm ²	工艺 μm
MANGO	虚通道	1	GS/BE	515	0.19	0.12
VCNoC	虚通道	1	GS/BE	350	0.15	0.13
VOQNoC	虫孔	4	GS/BE	500	0.62	0.13

4 结束语

文中设计并实现了一种支持 QoS 的 8 端口片上网络路由器,该结构采用一种折中的 VOQ 结构降低报文的排头阻塞.实现结果表明,该路由器的标准单元面积为 0.62mm²,最大工作频率可达到 500MHz.其面积代价为其他路由器的 3~4 倍,但单个路由器可连接 4 个 IP 核,因而有效降低了整个片

上网络的面积.下一步将进一步优化缓冲区面积以及开关调度算法,并对某些关键电路进行全定制设计.

参考文献:

[1] Benini L, Micheli G D. Networks on chips: a new SoC paradigm [J]. IEEE Computer, 2002, 35(1):70-78.

[2] Goossens K, Dielissen J, A Radulescu. E- thereal network on chip: concepts, architectures, and implementations[J]. IEEE Design & Test of Computers, 2005, 22(5): 414-421.

[3] Kavaldjiev N K. A run - time reconfigurable network - on - chip for streaming DSP applications[D]. University of Twente, Faculty of Electrical Engineering, Mathematics & Computer Science, 2007.

[4] McKeown N. The iSLIP scheduling algorithm for input - queued switches[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 7(2):188-201.

[5] McKeown N. Fast switched backplane for a gigabit switched router [M]. Calif, San Jose, Cisco Systems, 1997.

[6] McKeown N, Anantharam V, Walrand J. Achieving 100% throughput in an input - queued switch[C]// Proceedings of the IEEE INFOCOM'96. San Francisco, CA, 1996: 296-302.

作者简介:

朱红雷 男,(1985-),硕士研究生.研究方向为 VLSI 设计.

彭元喜 男,(1966-),博士,副研究员,硕士生导师.研究方向为 NoC 设计、VLSI 设计、微处理器设计.

马 卓 男,(1981-),讲师.研究方向为高性能集成电路设计技术.

(上接第 135 页)

参考文献:

[1] 谢显中. 感知无线电技术及其应用[M]. 北京:电子工业出版社,2008.

[2] 管少华. 认知无线电频谱感知算法研究[J]. 巢湖学院学报,2008,10(3):41-45.

[3] 何友. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2007.

[4] Tandra R. Fundamental limits on detection in low snr[D]. Berkeley: University of California, 2005.

作者简介:

张 楠 女,硕士研究生.研究方向为军事通信学.

李 嫻 女,助教.研究方向为通信装备.