

认知无线网络中基于信任的合作频谱感知框架

张光华^{1,2}, 仇晶²

(1 西安电子科技大学 计算机网络与信息安全教育部重点实验室, 陕西 西安 710071;

2 河北科技大学 信息科学与工程学院, 河北 石家庄 050000)

摘要: 文中提出了一种基于信任的合作频谱感知框架. 通过本地感知差异、感知位置因素、控制信道条件为参与频谱感知的用户建立信任, 准确地权重决策中心的单用户感知信息. 仿真结果表明, 在一定虚警概率的约束条件下, 该框架应用于具体模型时具有较低的漏检概率.

关键词: 信任; 频谱感知; 虚警概率; 漏检概率

中图分类号: TN911.22

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)09-0001-04

A Trust Based Cooperative Spectrum Sensing Framework for Cognitive Radio Networks

ZHANG Guang-hua^{1,2}, QIU Jing²

(1 Key Lab of Computer Networks and Information Security of Ministry of Education, Xidian University, Xi'an 710071, China; 2 College of Information Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: A trust based cooperative spectrum sensing framework is proposed to establish trust for each user through local sensing difference, sensing location factors, control channel conditions, which can accurately weight a single user's information at the decision-making center. Simulation results show that while applying to concrete models the proposed framework has lower missed detection probability within a certain false alarm probability.

Key words: trust; spectrum sensing; false alarm probability; missed detection probability

1 引言

频谱感知是实现认知无线电技术(Cognitive Radio, CR)及应用的核心技术^[1], 它通过感知频谱空穴避免对授权用户的干扰, 使得非授权用户以动态方式利用空闲频谱, 有效地提高了频谱的使用效率^[2-3].

目前基于单用户的频谱感知方法比较简单, 在实际的无线环境中, 信号传输容易受到硬件条件、信道环境的影响, 使得感知结果存在不确定性和不完整性. 文献[4]提出了一种两用户单跳网络的放大转发协议, 一个用户作为另一个用户的中继进行合作

感知, 有效降低了中断概率. 基于以上思想, 多用户合作频谱感知算法陆续被提出^[5-6], 允许同一频段上的多个感知用户之间进行合作, 共同完成对授权用户的检测, 达到提高系统整体感知性能的目标.

在合作频谱感知中, 某些CR用户由于设备功耗受限或机械故障以确定的方式报告授权用户总是出现或者不出现, 甚至有些用户以不确定方式故意干扰合作感知结果. 文中在合作频谱感知中引入信任, 并结合动态变化的网络环境特性为参与频谱感知的CR用户建立信任, 并将其作为感知结果的权重, 提高决策中心最终判决的准确性.

收稿日期: 2010-12-29; **修回日期:** 2011-02-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(60872055); 河北省自然科学基金项目(F2010001745)

2 系统结构

在分布式多用户合作频谱感知模型中,CR 用户通过感知信道感知频谱环境,基于某种频谱感知算法搜寻已分配给授权用户但未被占用的频谱空穴,并通过控制信道将感知结果上报给决策中心或 CR 基站进行融合判决,CR 基站然后广播可用频谱信息,实现 CR 用户与授权用户的频谱共享. 系统结构如图 1 所示.

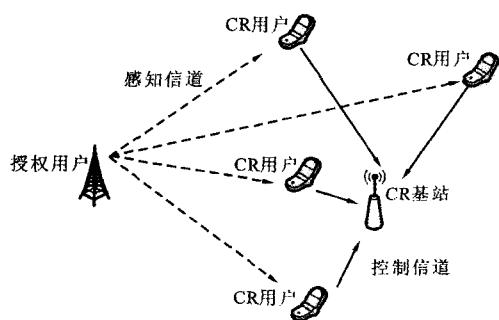


图 1 分布式多用户合作频谱感知系统结构图

系统中的基本术语定义如下.

授权频谱 (Licensed Spectrum) 为授权用户所持有的频谱,授权用户需要为使用这些频谱支付费用. 非授权频谱 (UnLicensed Spectrum) 为免费给任何用户使用的频谱.

授权用户 (Primary User) 指拥有授权频谱的用户. CR 用户 (Secondary User) 指不拥有任何频段而利用空闲频谱进行通信的用户.

3 基于信任的合作频谱感知框架

3.1 CR 用户频谱感知的基本模型

系统中的 CR 用户在独立频谱感知方式下,采用基于发射机信号的检测方法. 基于发射机信号的检测方法是一种基于授权用户发射信号的检测方法,CR 用户通过分析侦听到的信号是否存在授权用户信号来判断频谱的使用状态,基本模型如下所示.

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

其中, $x(t)$ 为 CR 用户收到的合成信号, $s(t)$ 为授权用户的发射信号, $n(t)$ 为加性高斯白噪声, h 为授权用户到 CR 用户之间的无线信道增益,信道延时并没有考虑在内. 如果是非理想信道,在 h 与 $s(t)$ 之间应该是卷积关系而非点乘. H_0 和 H_1 分别表示授权用户存在和不存在的两种假设. CR 用户 i 使用具体

的检测方法如能量检测^[2]、循环平稳特征检测^[3] 根据 $x(t)$ 基于数理统计的方法构造相应的判决统计量 Y_i ,并根据预先设定的门限阈值 λ_i 和判决规则来进行授权信号有无的判决^[2] 如下所示.

$$Y_i \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \lambda_i \quad (2)$$

基于以上判决,存在两类错误,即虚警错误(授权用户实际并未出现,但错误地判决为授权用户出现)和漏检错误(授权用户实际存在,但错误地判断为未检测到授权用户). 分别以虚警概率 P_f 和漏检概率 P_m 表示,如下所示.

$$\begin{cases} P_f = \Pr(Y_i > \lambda_i | H_0) \\ P_m = \Pr(Y_i < \lambda_i | H_1) \end{cases} \quad (3)$$

CR 用户基于本地检测方法进行判决后将结果上报给 CR 基站进行融合判决,称为硬信息合并;CR 用户基于本地检测方法将感知信息上报给 CR 基站进行融合判决,称为软信息合并. 文献[7]对硬信息合并和软信息合并的性能分别进行了分析,在降低漏检概率方面,软信息合并的性能要明显优于硬信息合并,但所需的网络开销更大一些. 文中采用软信息融合构建框架,限于篇幅限制对于系统开销不做进一步的讨论.

3.2 基于信任的感知信息融合

上报给 CR 基站的感知信息包括 CR 用户的判决统计量、检测的频谱位置、CR 用户的位置. 由于 CR 用户的不可靠性对于最终的融合判决产生不同程度的影响,为此在 CR 基站为每个 CR 用户建立信任值 T_i ,它受到本地感知差异 D_i 、感知位置因素 P_i 、控制信道条件 C_i 等的影响.

假设存在一个有 N 个 CR 用户的认知无线网络,上传给 CR 基站的判决统计量分别为 $Y_i (i = 1, 2 \dots N)$. 本地感知差异定义为单个 CR 用户与所有 CR 用户判决统计量平均值的差异,差异越小,表示 CR 用户的感知结果越可靠. CR 用户 i 的本地感知差异定义如下所示.

$$D_i = |Y_i - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Y_k| \quad (i = 1, 2 \dots N) \quad (4)$$

感知位置因素包括两个方面,即授权用户到 CR 用户的距离和 CR 用户到授权用户的距离,通过检测的频谱位置和 CR 用户的位置容易求得,分别表示为 P_a 和 P_b . 距离越小,感知结果受到感知位置因素的影响越小. CR 用户 i 的感知位置因素定义如下所示.

$$P_i = P_a^{(i)} \cdot P_b^{(i)} \quad (i = 1, 2 \dots N) \quad (5)$$

CR 用户向 CR 基站汇报感知信息的控制信道为非理想信道,使得感知信息在传输时容易发生错误,且和报告信道的信噪比(Signal to Noise Ratio, SNR)直接相关. CR 基站检查接收信号的 SNR,定义 CR 用户 i 控制信道条件如下:

$$C_i = \text{SNR}_i \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (6)$$

D_i, P_i, C_i 之间量纲不一致,数据大小也差别较大. 为了体现三个因素在信任评价中的实际价值,按照式(7)~(9)对它们做标准化处理,分别得到 D'_i, P'_i, C'_i .

$$D'_i = \frac{D_i^{\max} - D_i}{D_i^{\max} - D_i^{\min}} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (7)$$

$$P'_i = \frac{P_i^{\max} - P_i}{P_i^{\max} - P_i^{\min}} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (8)$$

$$C'_i = \frac{C_i - C_i^{\min}}{C_i^{\max} - C_i^{\min}} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (9)$$

其中, $D_i^{\max}, D_i^{\min}, P_i^{\max}, P_i^{\min}, C_i^{\max}, C_i^{\min}$ 分别为本地感知差异、感知位置因素、控制信道条件中的最大值和最小值. 最终 CR 基站按照式(10)为每个 CR 用户建立信任值 T_i .

$$T_i = \alpha D'_i + \beta P'_i + \gamma C'_i + \theta \quad (10)$$

其中, $\alpha + \beta + \gamma = 1$, 它们的取值与 CR 用户使用的具体检测方法和 CR 基站对于感知环境的主观需求相关. θ 为惩罚或者奖励因子,用来扩展其他因素对于 CR 用户信任的影响.

CR 基站使用 CR 用户的信任值权重它们上传的判决统计量,得到融合判决统计量 Z ,如下:

$$Z = \sum_{i=1}^N T_i Y_i / \sum_{k=1}^N T_k \quad (11)$$

最后, CR 基站用 Z 与融合判决门限 λ 进行比较,按照式(12)判决授权用户是否存在.

$$Z \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \lambda \quad (12)$$

按照虚警概率和漏检概率的式(3),并结合式(11)、(12)可以得到融合判决的虚警概率和漏检概率,分别记为 Q_f 和 Q_m .

3.3 框架的补充和优化

基于信任的感知信息融合中,假设全部用户参与合作,并把接收信号的 SNR 作为 CR 用户信任评价的一个因素. 文献[8]表明,在合作感知的实际应用中,只需要选取一定数量的、具有较高接收信号 SNR 的 CR 用户参与合作检测,就可以到达 CRN 网络中系统的最优合作检测性能. 为了节省系统开销,可以设置 SNR 的预定门限值,低于门限值的 CR 用户信息被忽略,降低计算的复杂性.

在系统开销能够容忍的前提下, CR 用户进行按照式(4)进行本地判决,并把本地判决结果上传给 CR 基站. CR 基站基于一定的时间窗口监测 CR 用户的判决结果,如果发现某 CR 用户连续报告授权用户存在或者不存在高于一定的门限值时,认定该 CR 用户不可靠; CR 基站也可以把 CR 用户本地判决与融合判决比较,计算 CR 用户判决的成功率低于一定的门限值时,认定该 CR 用户不可靠. 以上两方面以式(10)中的 θ 融入信任计算中.

4 仿真结果及分析

仿真实验中, 15 个 CR 用户随机分布在 $100 * 100$ 个单位的正方形区域内, 在每个监测周期中 CR 用户采样 10 次, 各信任因素的权重 α, β, γ 取值均为 $1/3$, CR 用户接收授权用户的发射信号强度与它们之间的距离平方成反比. CR 用户的频谱感知分别使用能量检测^[2]和循环平稳特征检测^[3]方法, 并假定感知信道和控制信道的加性高斯白噪声为 1 个能量单位. 仿真结果采用接收机操作特性曲线呈现, 对比本文提出的框架与单用户感知、CR 基站采用 AND 规则(所有 CR 用户都检测到频谱空穴, 即认为存在可用频谱)和 OR 规则(只要有一个 CR 用户都检测到频谱空穴, 即认为存在可用频谱)进行融合判决时的系统性能.

从图 2 和图 3 中看出, CR 用户使用能量检测或循环平稳特征检测方法时, 合作感知的系统性能优于单用户感知; 而基于信任的合作频谱感知中, 利用本地感知差异、感知位置因素、控制信道条件为 CR 用户建立信任, 在软信息合并中较准确地权重了 CR 用户上传的感知信息, 在一定的虚警概率的约束条件下, 较采用 AND 规则和 OR 规则进行融合判决获得了较低的漏检概率, 更好地满足了系统性能要求.

5 结束语

在 CRN 的频谱感知中需要 CR 用户的相互合作来完成, 利用信任评估 CR 用户上传信息的可信度提高了融合判决的准确性. 提取本地感知差异、感知位置因素、控制信道条件作为信任计算的主要依据, 并考虑设置 SNR 门限和基于一定的时间窗口监测 CR 用户行为对框架进行了补充和优化. 后续工作包括: 进一步识别合作频谱感知中 CR 用户的信任因素, 研究各因素的加权因子对系统性能的影响; 平衡软信息合并与系统开销的关系等.

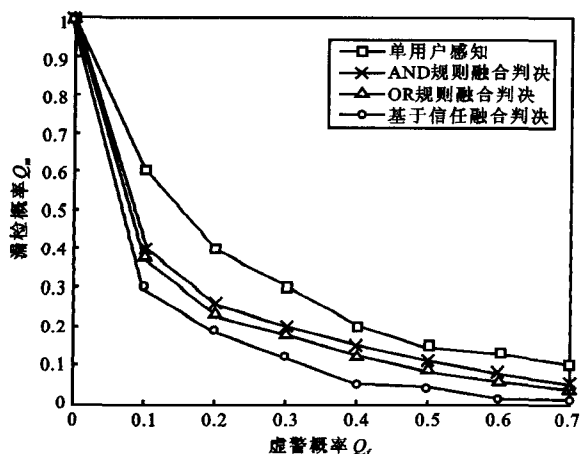


图2 CR用户采用能量检测方法时的系统性能比较

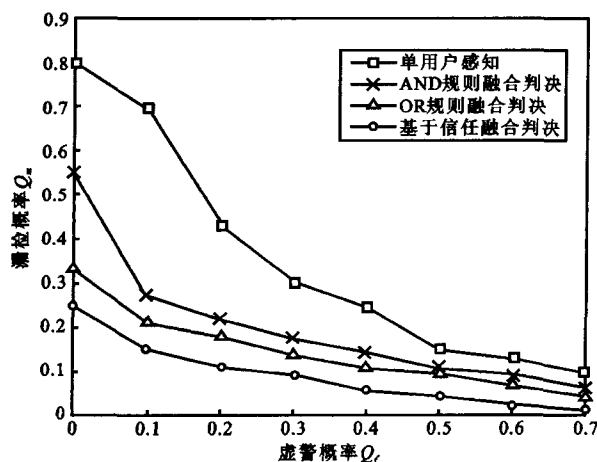


图3 CR用户采用循环平稳特征检测方法时的系统性能比较

参考文献:

- [1] Akyildiz Ian F, Lee Won-yeol, Vuran Mehmet C, et al. NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radion wireless networks; A survey[J]. Computer Networks, 2006, 50(13): 2127—2159.
- [2] Danijela D, Mishra S M, Brodersen R W. Implementa-

tion issues in spectrum sensing for cognitive radios[C]// Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Monterey: IEEE Computer Society, 2004: 772—776.

- [3] Ghozzi, Mohamed Marx, Francois Dohler, et al. Cyclostationarity-based test for detection of vacant frequency bands[C]// the first International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications. Mykonos Island: IEEE Computer Society, 2006: 1—5.
- [4] Laneman J N, Tes D N C. Cooperative diversity in wireless networks; Efficient protocols and outage behaviour [J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 2004, 50(1): 3062—3080.
- [5] 张楠, 李娟, 胡中豫. 基于数据融合理论的分布式协作频谱感知方法研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(3): 131—135.
- [6] Zhi Quan, Shuguang Cui, Sayed A H, et al. Optimal multiband joint detection for spectrum sensing in cognitive radio networks[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009, 57(3): 1128—1140.
- [7] Visotsky E, Kuffner S, Peterson R. On collaborative detection of TV transmissions in support of dynamic spectrum sharing [C]// the First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks. Baltimore: IEEE Computer Society, 2005: 338—345.
- [8] Peh E, Ying-Chang Liang. Optimization for cooperative sensing in cognitive radio networks [C]// 2007 Wireless Communications and Networking Conference. Kowloon: IEEE Computer Society, 2007: 27—32.

作者简介:

张光华 男, (1979—), 博士研究生. 研究方向为信任管理、无线网络安全.

仇晶 女, (1983—), 博士. 研究方向为数据挖掘、认知无线电.