

7-2-2020

Optimization Scheme of Average Time for Finding Idle Channel in Cognitive Radio System

Qiao Pei

1. Northwest University, Xi'an 710127, China;;

Liyuan Xiao

1. Northwest University, Xi'an 710127, China;;2. Xidian University, Xi'an 710071, China;;3. Service Development Center of the State Commission Office for Public Sector Reform, Beijing 100028, China;;

Yanyan Han

4. Beijing Electronic Science and Technology Institute, Beijing 100070, China;

Gao Ling

1. Northwest University, Xi'an 710127, China;;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Optimization Scheme of Average Time for Finding Idle Channel in Cognitive Radio System

Abstract

Abstract: In cognitive radio system, periodic spectrum sensing was taken by secondary users to prevent the interference to primary users. Supposed that there are many primary user channels, when the current primary user occupies channel, secondary users do spectrum handover. During spectrum handover, the time of finding an idle channel is a random variable. *In order to speed up spectrum handover, the system used equal gain combining cooperative spectrum sensing to inspect an idle channel. This pattern optimized the sensing time of the single user channel, in order to get the best effect of the average time in finding idle channel. Using different simulation parameters, there are accordingly optimal sensing times of the single channel, and the corresponding different shortest average time of finding idle channel.*

Keywords

cognitive radio, spectrum sensing, spectrum handover, soft combination, optimization

Recommended Citation

Qiao Pei, Xiao Liyuan, Han Yanyan, Gao Ling. Optimization Scheme of Average Time for Finding Idle Channel in Cognitive Radio System[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(3): 727-732.

认知无线电系统中搜索空闲信道的平均时间优化算法

乔培¹, 肖丽媛^{1,2,3}, 韩妍妍⁴, 高岭¹

(1. 西北大学, 陕西 西安 710127; 2. 西安电子科技大学, 陕西 西安 710071;
3. 中央编办事业发展中心, 北京 100028; 4. 北京电子科技学院, 北京 100070)

摘要: 为了保证主用户在传输数据过程中不受次级用户的干扰, 认知无线电系统中次级用户采用了周期频谱检测技术来检测空闲信道。假设系统中存在多条主用户信道, 当检测出当前使用的主用户信道被占用时, 次级用户进行频谱切换。频谱切换过程中搜索空闲信道的时间是个随机变量。为了加速频谱切换, 采用等增益合并合作频谱检测模式来进行空闲信道的检测, 这种模式优化单个信道的检测时间, 可以达到使搜索空闲信道平均时间最短的效果。研究了在不同仿真参数的情况下, 系统存在相应的最优单个信道检测时间, 以及对应最短搜索空闲信道的平均时间。

关键词: 认知无线电; 频谱检测; 频谱切换; 软合并; 优化

中图分类号: TN911.23 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 03-0727-06

Optimization Scheme of Average Time for Finding Idle Channel in Cognitive Radio System

Qiao Pei¹, Xiao Liyuan^{1,2,3}, Han Yanyan⁴, Gao Ling¹

(1. Northwest University, Xi'an 710127, China; 2. Xidian University, Xi'an 710071, China;
3. Service Development Center of the State Commission Office for Public Sector Reform, Beijing 100028, China;
4. Beijing Electronic Science and Technology Institute, Beijing 100070, China)

Abstract: In cognitive radio system, periodic spectrum sensing was taken by secondary users to prevent the interference to primary users. Supposed that there are many primary user channels, when the current primary user occupies channel, secondary users do spectrum handover. During spectrum handover, the time of finding an idle channel is a random variable. *In order to speed up spectrum handover, the system used equal gain combining cooperative spectrum sensing to inspect an idle channel. This pattern optimized the sensing time of the single user channel, in order to get the best effect of the average time in finding idle channel. Using different simulation parameters, there are accordingly optimal sensing times of the single channel, and the corresponding different shortest average time of finding idle channel.*

Keywords: cognitive radio; spectrum sensing; spectrum handover; soft combination; optimization

引言

随着互联网业务的迅猛发展、便携计算机设备的广泛使用以及全球范围内移动用户数的快速增

长, 对无线频谱的需求也日益增加, 从而导致频谱短缺问题。频谱的短缺^[1-3]不仅是频谱本身的缺乏, 而且主要是由旧的频谱管理和频谱分配策略引起的。认知无线电的概念是 Joseph Mitola 博士于 2000 年在其毕业论文中提出的, 并阐述了认知无线电的涵义。

在认知无线电系统中, 次级用户需要通过频谱检测寻找空闲的主用户信道来传输数据; 次级用户



收稿日期: 2014-07-14 修回日期: 2014-09-22;
基金项目: 国家自然科学基金(61373176); 国家科技支撑计划(2012BAH16B00); 信息安全国家标准(2013bzzd-WG1-005);
作者简介: 乔培(1982-), 男, 陕西咸阳, 博士生, 助理研究员, 研究方向为认知无线电, 域名系统, IP 网络, 信息安全。

<http://www.china-simulation.com>

在使用主用户的空闲信道传输数据的过程中,为了防止造成对主用户的干扰,通常采用周期检测机制^[4-5]。当系统中存在一条主用户信道,经过频谱检测判定主用户占用信道,则次级用户保持静默;如果系统中存在多条主用户信道,则次级用户寻找空闲信道,花费的平均时间被称为搜索空闲信道的平均时间。文献[6]讨论了只有一条主用户信道时,通过优化感知时间使信道效率最大。文献[7]采用单用户能量检测机制,分析了多条主用户信道存在时感知时间的优化问题。当存在多条主用户信道时,采用基于能量检测的软合并合作频谱检测机制,提出了搜索空闲信道平均时间的优化算法,并与文献[7]进行了比较。

1 频谱检测

1.1 单用户检测

基于主用户信号的频谱检测通常是指单个次级用户采用某种信号检测的方法来进行频谱检测,其主要方法有循环平稳特征检测、匹配滤波器检测、能量检测等。针对主用户信号进行的检测,一般描述为二元假设检验问题^[8-9]:

(1) H_0 条件下: 主用户信号不存在, 次级用户检测器只能检测出噪声信号;

(2) H_1 条件下: 主用户信号存在, 次级用户检测器在检测出主用户信号的同时还能检测出噪声信号。

能量检测器由噪声预滤波器、平方器和有限时间积分器组成。能量计算值 Y 如式(1):

$$Y = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |y(n)|^2 \quad (1)$$

假设主用户信号 $s(n)$ 为零均值高斯白信号, 功率为 σ_s^2 , 即 $s(n) \sim N(0, \sigma_s^2)$; 假设噪声信号 $u(n)$ 为零均值高斯白噪声, 功率为 σ_u^2 , 即 $u(n) \sim N(0, \sigma_u^2)$ 。由信号模型可知, $y(n)$ 服从高斯分布, NY 服从 χ^2 分布。

Y 在 2 种假设下的分布为^[10]:

$$Y \sim \begin{cases} \chi_N^2, & H_0 \\ \chi_N^2(2\gamma), & H_1 \end{cases} \quad (2)$$

即 H_0 条件下, Y 服从自由度为 N 的中心 χ^2 分布; H_1 条件下, Y 服从自由度为 N 的非中心 χ^2 分布, 非中心参数为 2γ 。 $\gamma = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_u^2}$, 即为次级用户

接收到的主用户信噪比。

根据中心极限定理, 当 N 较大时, Y 在两种假设下的分布为^[8]:

$$Y \sim \begin{cases} N\left(\sigma_u^2, \frac{2\sigma_u^4}{N}\right), & H_0 \\ N\left(\sigma_s^2 + \sigma_u^2, \frac{2}{N}(\sigma_s^2 + \sigma_u^2)^2\right), & H_1 \end{cases} \quad (3)$$

通常用虚警概率和检测概率来衡量能量检测器性能。

虚警概率表示假设 H_0 为真时, 判决为 H_1 的概率, 即:

$$P_f = P(Y > \lambda | H_0) \quad (4)$$

检测概率表示假设 H_1 为真时, 判决为 H_1 的概率, 即:

$$P_d = P(Y > \lambda | H_1) \quad (5)$$

1.2 合作检测

当采用单用户检测时, 次级用户会受到信道的阴影效应、多径衰落和本地干扰的影响, 从而做出错误判断。为了解决这些问题, 提出了合作频谱检测^[11]。

合作频谱检测, 根据共享检测数据方式可分为 3 类^[12]: 集中式、分布式和基于中继转发。在集中式中, 每个次级用户将检测数据发送给融合中心, 融合中心根据检测数据进行最终判决。在分布式中, 每个次级用户利用接收到的临近节点发送的检测数据, 使用迭代算法, 判断主用户的信号是否存在。第 3 种是基于中继转发的, 在检测过程中控制信道或检测信道不可能是完美的, 因此可以通过相互合作以提高合作频谱检测性能。

根据检测信息的不同类型, 合作频谱检测分为数据融合和决策融合。数据融合称为软合并(soft

combination)合作检测, 决策融合称为硬合并(hard combination)合作检测。

1.3 等增益合并合作检测

经研究发现, 等增益合并合作检测是软合并中能够获得接近最优检测性能的方法, 本文采用此检测方法。

系统中有 L 条主用户信道、 M 个次级用户和一个融合中心^[13-14]、一个次级用户传输数据。实际参与等增益合并合作检测的次级用户数为

$m (2 \leq m \leq M)$ 。在检测过程中, 周期检测 MAC 帧结构如图 1 所示。由图中可知, 每条主用户信道的检测时间为 $\tau + m\tau_0$ 。 SU_i 表示第 i 个参与合作检测的次级用户。检测时间由两部分构成: 一是参与合作检测的所有次级用户将检测统计量传送到融合中心的总时间, 每个次级用户单独传送时间为 τ_0 , 那么总传送时间为 $m\tau_0$; 以及每个次级用户的本地检测时间 τ 。

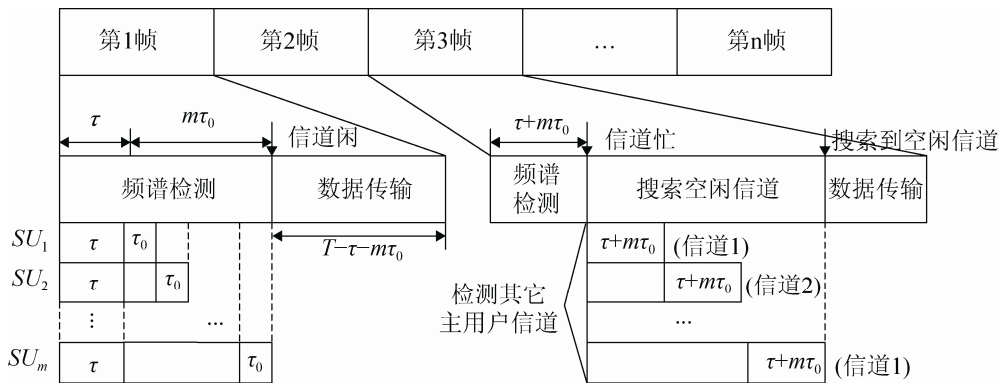


图 1 采用软合并合作检测频谱切换时的 MAC 帧结构

当采用能量检测时, 单个次级用户输出的检测统计量为 Y_i , 融合中心对 Y_i 进行等增益合并, 其检测统计量为 Y , 如式(6):

$$Y = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i \quad (6)$$

假设每个次级用户接收到的信号都是独立同分布的, 并且噪声功率都是相同的。在 2 种假设下, Y_i 的分布如(3)式, 因此得到 Y 的分布为:

$$Y \sim \begin{cases} N\left(\sigma_u^2, \frac{2\sigma_u^4}{mN}\right), & H_0 \\ N\left(\sigma_s^2 + \sigma_u^2, \frac{2}{mN}(\sigma_s^2 + \sigma_u^2)^2\right), & H_1 \end{cases} \quad (7)$$

等增益合并合作检测的虚警概率和检测概率分别为:

$$P_f(m, \tau, \lambda) = P(Y > \lambda | H_0) = Q\left(\sqrt{\frac{m\tau f_s}{2}} \cdot \frac{\lambda - \sigma_u^2}{\sigma_u^2}\right) \quad (8)$$

$$P_d(m, \tau, \lambda) = P(Y > \lambda | H_1) = Q\left(\sqrt{\frac{m\tau f_s}{2}} \cdot \frac{\lambda - (\sigma_s^2 + \sigma_u^2)}{\sigma_s^2 + \sigma_u^2}\right) \quad (9)$$

2 搜索空闲信道的平均时间优化

2.1 优化算法

在进行空闲信道搜索时, 假设次级用户花费时间的统计平均值为 T_{search} 。在本文中, 为了使次级用户迅速进行频谱切换, 即获得较短的 T_{search} ^[15]。

每条主用户信道所需的检测时间为 $\tau + m\tau_0$, 用 T_f 表示。选择一个较小的 T_f , 每条主用户信道的状态可以被快速检测出来, 但是通过(8)式可以看出, 较小的 T_f 会产生较高的虚警概率, 反倒增加了 T_{search} 。因此可以判断, 存在最佳检测时间 T_f^* , 使 T_{search} 最短。

任意其他主用户的信道空闲概率为 $P(H_0)$, 忙

的概率为 $P(H_1)$ 。 P_f 和 P_d 如式(8)和式(9)所示。(10)式表示将任意主用户信道判定为空闲的概率:

$$P_i = (1 - P_f)P(H_0) + (1 - P_d)P(H_1) \quad (10)$$

假定 $L-1$ 条主用户信道同时被占用的概率很小, 即:

$$(1 - P_i)^{L-1} \leq \delta \ll 1 \quad (11)$$

搜索空闲信道的平均时间为:

$$\begin{aligned} T_{\text{search}} &= T_f P_i + \dots + (L-1)T_f (1 - P_i)^{L-2} P_i = \\ &= \sum_{j=2}^L (j-1)T_f (1 - P_i)^{j-2} P_i = \\ &= T_f \left[\frac{1 - (1 - P_i)^L}{P_i} - L(1 - P_i)^{L-1} \right] \quad (12) \end{aligned}$$

对上述平均时间进行优化的问题描述为: 在对主用户有足够保护程度的前提下, 即次级用户以较高的检测概率检测出主用户信号, 寻找最优的参数设置使搜索空闲信道的平均时间达到最短。 P_{d0} 为检测概率的下限, $P_d \geq P_{d0}$, 文中假设 $P_d = P_{d0}$ 。

将式(10)、 $P_d = P_{d0}$ 带入到式(11)中, 可得到虚警概率的约束条件为:

$$P_f \leq 1 - \frac{1 - L\sqrt{\delta} - (1 - P_{d0})P(H_1)}{P(H_0)} \quad (13)$$

令 $P_{f0} = 1 - \frac{1 - L\sqrt{\delta} - (1 - P_{d0})P(H_1)}{P(H_0)}$, 则可得:

$$P_f \leq P_{f0} \quad (14)$$

P_{f0} 和主用户的信道占用模型、 L 和 δ 有关。

优化问题表达如下:

$$\begin{aligned} \min T_{\text{search}} &= T_f \left[\frac{1 - (1 - P_i)^L}{P_i} - L(1 - P_i)^{L-1} \right] \\ \text{s.t.} \quad P_f &\leq P_{f0} \quad (15) \end{aligned}$$

根据图 1 可知, $T_f = \tau + m\tau_0$ 。将 $P_d = P_{d0}$ 带入(9)式, 可得到:

$$\lambda = \sqrt{\frac{2}{m\tau f_s}} (\sigma_s^2 + \sigma_u^2) Q^{-1}(P_{d0}) + \sigma_s^2 + \sigma_u^2 \quad (16)$$

将(16)式带入(8)式, 可以得到:

$$P_f = Q \left(Q^{-1}(P_{d0})(1 + \gamma) + \gamma \sqrt{\frac{m\tau f_s}{2}} \right) \quad (17)$$

其中: $\gamma = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_u^2}$, $\tau = T_f - m\tau_0$ 。

当 P_{d0} , γ , m , f_s , τ_0 已知时, 虚警概率 P_f 是 T_f 的函数。将(17)式带入到(14)式, 根据 Q 函数性质, 可以得到 T_f 的最小值 $T_{f-\min}$ 。

$$\begin{aligned} T_{f-\min} &= \\ &= \frac{2 \left(\frac{Q^{-1}(P_{f0}) - Q^{-1}(P_{d0})(1 + \gamma)}{\gamma} \right)^2}{m f_s} + m\tau_0 \quad (18) \end{aligned}$$

最短的搜索空闲信道平均时间 T_{search} 对应一个最佳的检测时间 T_f^* , 因此(15)式表示的优化问题转化为以下最优化问题:

$$\begin{aligned} T_f^* &= \arg \min_{T_f} T_f \left[\frac{1 - (1 - P_i)^L}{P_i} - L(1 - P_i)^{L-1} \right] \\ \text{s.t.} \quad T_f &\geq T_{f-\min} \quad (19) \end{aligned}$$

2.2 仿真结果和分析

仿真过程中采用以下参数: 主用户信道总数为 $L = 30$, 采样频率为 100 KHz, 帧长为 $T = 20$ ms, 每条主用户信道带宽为 50 KHz, 次级用户接收到的信噪比 $\gamma = -10$ dB, 主用户信道空闲概率 $P(H_0) = 0.5$, 主用户信道忙的概率 $P(H_1) = 0.5$, $\delta = 0.01$, $\tau_0 = 0.8$ ms, 系统要求的最低检测概率 $P_{d0} = 0.995$ 。

图 2 为是 T_{search} 随 T_f 的变化曲线, 并与文献[7]进行了比较, 即 $m=1$ 时。可以看出, 当合作检测的次级用户数不同时, 均存在一个 T_f^* , 使 T_{search} 达到最短。合作用户数为 2~7 时, 最短的 T_{search} 分别是 [36.5, 28.1, 24.7, 23.3, 22.9, 23.0] ms, 对应的 T_f^* 分别是 [12.4, 10.4, 9.7, 9.7, 9.9, 10.2] ms。当合作用户数为 6 时, 可以获得最短的 T_{search} 。图中 $m=1$ 时, T_f^* 为 20 ms, 最短的 T_{search} 为 65.6 ms。从图 2 可看出, 本文提出算法的搜索空闲信道的平均时间优于文献[7]。

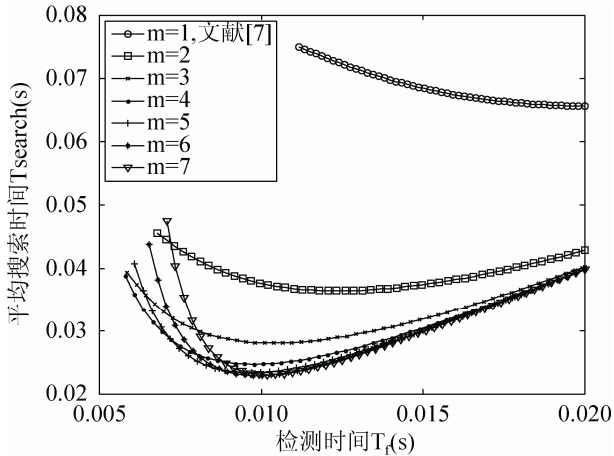


图 2 搜索空闲信道平均时间随检测时间的变化曲线

图 3 是合作用户数为 6, 取不同的 P_{d0} , T_{search} 随 T_f 的变化曲线。取不同的 P_{d0} , 可得到不同的 T_f^* 、不同的最短 T_{search} 。当 P_{d0} 分别为 0.990, 0.995 和 0.999 时, 最短的 T_{search} 分别为 [21.2, 22.9, 26.7]ms, 对应的 T_f^* 分别为 [9.2, 9.9, 11.5]ms。可以看出, P_{d0} 越小, 最短的搜索空闲信道的平均时间也越小。

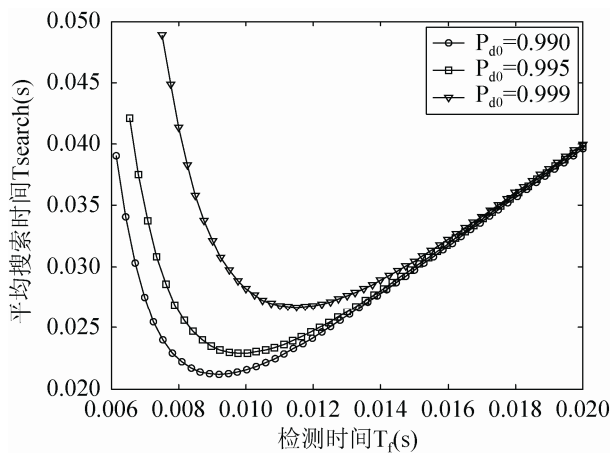


图 3 搜索空闲信道平均时间随检测时间的变化曲线

(不同的检测概率)

图 4 是合作用户数为 6, P_{d0} 为 0.995, τ_0 取不同值时, T_{search} 随 T_f 的变化曲线。取不同的 τ_0 , 可得到不同的 T_f^* 和不同的最短的 T_{search} 。在 τ_0 取 0.1ms~1ms 时, 最短的 T_{search} 分别是 [12.4, 14.0, 15.6, 17.1, 18.6, 20.1, 21.5, 22.9, 24.3, 25.7]ms, 对应的 T_f^* 分别是 [4.2, 5.2, 6.0, 6.9, 7.6, 8.4, 9.1, 9.9, 10.6, 11.3]ms。

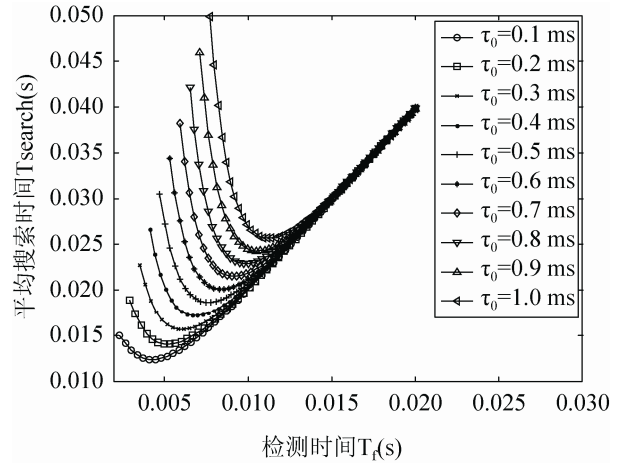


图 4 搜索空闲信道平均时间随检测时间的变化曲线 (不同的传输时间)

图 5 是合作用户数为 6, 取不同的主用户信道数值时, T_{search} 随 T_f 的变化曲线。图 5 中可看出, $L=10, 20, 30$ 时, 最短的 T_{search} 分别是 [22.1, 22.9, 22.9]ms, 对应的 T_f^* 分别是 [9.3, 9.9, 9.9]ms。可看出当主用户信道数值为 10 时, 达到最短的搜索空闲信道的平均时间。

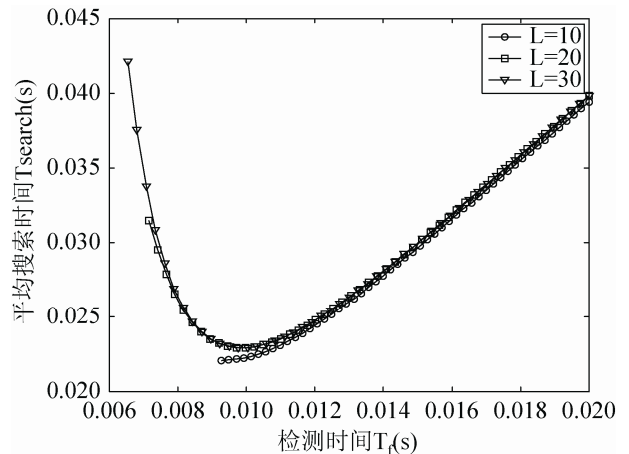


图 5 搜索空闲信道平均时间随检测时间的变化曲线 (不同的主用户信道数)

3 结论

当采用等增益合并合作检测时, 单个主用户信道的检测时间和主用户信道数、主用户的保护程度、参与合作检测的次级用户数以及次级用户检测统计量的传输时间有关, 通过改变以上参数可以得到不同的单个信道检测时间。当采用不同的参数

时, 存在一个最优的信道检测时间可以使搜索空闲信道平均时间最短。

参考文献:

- [1] Mitola J. Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio [D]. UK: Royal Institute of Technology, 2000.
- [2] Beibei W, K J Ray L. Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey [J]. IEEE Journal of Selected Topics In signal Processing (S1932-4553), 2011, 5(1): 5-23.
- [3] Cabric D, O'Donnell I D, Chen M S, et al. Spectrum sharing radios [J]. IEEE Circuits and Systems Magazine (S1531-636X), 2006, 6(2): 30-45.
- [4] Yan Xin, Zhang H, Rangarajan S. A Simple Sequential Spectrum Sensing Scheme for Cognitive Radio [C]// GLOBECOM 2009, Hawaii, USA. USA: IEEE Communications Society, 2009.
- [5] Yucek T, Arslan H. A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications [J]. IEEE Commun. Surveys Tutorials (S1553-877X), 2009, 11(1): 116-130.
- [6] Wang Peng, Xiao Limin, Zhou Shidong, et al. Optimization of detection time for channel efficiency in cognitive radio systems [C]// IEEE Communications Society Subject Matter Experts for Publication in the WCNC 2007 Proceedings, Hong Kong, China. USA: IEEE, 2007: 111- 115.
- [7] 丁汉清, 杨家玮, 赵志远. 认知无线电系统中感知时间的优化 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(8): 84-87, 113.
- [8] Liang Y C, Zeng Y H, Edward C Y, et al. Sensing throughput tradeoff for cognitive radio networks [J]. IEEE Transactions on wireless communications (S1536-1276), 2008, 7(4): 1326-1337.
- [9] 张雯. 认知无线电频谱感知技术性能分析及优化[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [10] Urkowitz H. Energy detection of unknown deterministic signals [C]// Proceedings of the IEEE. USA: IEEE, 1967, 55(4): 523-531.
- [11] 陈东. 认知无线电中无线频谱感知技术的研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
- [12] 丁汉清. 认知无线电频谱感知技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [13] Visotsky E, Kuffner S, Peterson R. On collaborative detection of tv transmissions in support of dynamic spectrum sharing [C]// IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Network, 2005. USA: IEEE, 2005: 338-345.
- [14] 张雯, 杨家玮, 闫琦, 等. 采用软合并合作检测的认知无线电系统的吞吐量优化 [J]. 西安电子科技大学学报, 2010, 37(6): 987-992, 1010.
- [15] 肖丽媛. WiMAX系统移动性管理若干技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.