

文章编号: 1001 - 893X(2011)01 - 0074 - 06

周期性协作频谱感知机制的优化^{*}

郭云玮, 刘 全, 高 俊

(海军工程大学 通信工程系, 武汉 430033)

摘 要: 为了提高检测性能和频谱资源利用率, 对认知无线网络中的周期性协作频谱感知机制进行了研究。针对不同的衰落信道环境, 通过引入有效传输时长比例和干扰时长比例作为次用户服务质量的衡量标准, 给出了集中式协作感知下的检测时长、数据传输时长以及协作用户数量等参数的最优选取方法, 从而获得最高的信道效率。仿真结果表明, 通过选取最佳的协作感知机制参数, 可在保证系统检测性能和干扰容限要求的同时, 显著提高次用户在空闲信道的有效传输时长比例, 实现了频谱利用效率的最大化。

关键词: 认知无线电; 频谱感知; 协作感知; 感知机制; 检测时长; 传输时长

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-893x.2011.01.015

Optimization of Periodic Cooperative Spectrum Sensing Mechanisms

GUO Yun-wei, LIU Quan, GAO Jun

(Department of Communication Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Periodic cooperative spectrum sensing mechanisms in cognitive radio(CR) networks are investigated to improve the performance of detection and the efficiency of spectrum utilization. The algorithms are proposed in different fading environment to obtain the optimal mechanism parameters such as detection duration, data transmission duration and the number of cooperative users, by adopting the ratio of effective and non-effective transmission duration as the criterion of the quality of service of secondary users. The simulation results show that the proposed scheme can increase the ratio of effective transmission duration significantly and maximize the channel efficiency for the CR users while satisfying the detection performance and interference constraints.

Key words: cognitive radio(CR); spectrum sensing; cooperative sensing; sensing mechanism; detection duration; transmission duration

1 引 言

认知无线电(Cognitive Radio, CR)技术作为一项具有革命性意义的新兴技术, 采用主-次分层的动态频谱共享方案实现了频谱资源的“二次利用”, 为从根本上解决当前无线通信中的频谱短缺问题提供

了强有力的技术支撑, 因而得到业内人士和各研究机构的高度重视和广泛研究。

CR 技术的首要问题是如何快速而准确地感知授权频谱的使用情况, 因此, 频谱感知是实现 CR 的关键技术之一^[1]。频谱感知技术主要涉及物理层和链路层, 物理层主要关注各种具体的本地检测算法,

* 收稿日期: 2010 - 10 - 09; 修回日期: 2010 - 11 - 10

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2009AAJ208, 2009AAJ116)

Foundation Item: The National High-tech R&D Program(863 Program) of China(No. 2009AAJ208, 2009AAJ116)

而链路层主要关注用户间的协作以及对感知机制的控制与优化。频谱感知的整体性能不仅仅取决于检测算法和协作方案,更重要的还在于合理地调配感知过程,即感知机制的控制,其目的是根据系统要求和信道条件以及主用户活动情况,选取合适的感知参数和感知策略,如检测时长、感知间隔和搜索方案等,实现感知性能的最优化。根据感知间隔是否呈现周期性,频谱感知可分为周期性感知和非周期性感知。非周期性感知机制适用于信道活动状态快速变化或主信号微弱的情况^[2],但由于感知间隔实时变化,使系统建模和机制优化的算法较为复杂。因此,当前大多数文献研究的是采用周期性感知的机制优化问题。如文献[3]介绍了检测时长和传输时长的优化方法;文献[4]中主要对感知周期和搜索方案进行了优化;而文献[5]从有效传输的角度,给出了最优感知时长的选取方法;文献[6]研究了协作感知下的监测周期、检测时长以及搜索时长的最优选取问题。但文献[3-5]都只考虑了单用户非协作的情况,而文献[6]没有考虑不同的信道环境以及多用户协作开销等因素对感知机制优化的影响。

针对以上问题,本文从协作感知的角度出发,给出了周期性感知机制下的最佳参数选取方法。在衰落信道环境下,综合考虑感知开销、协作开销和系统的检测性能要求,通过最大化有效检测时长,并限制相应的干扰时长,从而获取最佳的检测时长、传输时长以及协作用户数等感知机制参数,使次用户在信道上获得最高的传输效率。

文章具体安排如下:第2节描述系统模型;第3节研究不同衰落信道下最佳检测时长的选取;第4节研究如何选取最佳传输时长和协作用户数;第5节仿真分析与讨论;第6节总结全文。

2 系统模型

考虑一个以集中方式布置的CR网络, N 个次用户通过协作感知对 M 个授权信道进行伺机利用,且各次用户均采用“先听后传”的周期性感知策略。假设各次用户的感知信道是独立同分布的准静态衰落信道,本地感知采用能量检测算法,基站对协作信息采用OR准则进行决策融合。

2.1 授权信道占用模型

假设授权信道相互独立,通常将各信道的活动状态建成ON/OFF型的指数随机分布模型^[7],以第 j

个信道为例, $j \in [1, M]$, u_j 和 v_j 分别为信道 j 由忙转闲和由闲转忙的转移速率,则信道被占用和空闲状态的持续时间分别服从 $1/u_j$ 和 $1/v_j$ 的指数分布^[7],其概率密度函数(PDF)为

$$f_{B_j}(t) = u_j e^{-u_j t}, f_{I_j}(t) = v_j e^{-v_j t} \quad (1)$$

信道占用和空闲的统计概率分别用 P_{on} 和 P_{off} 表示:

$$P_{\text{on}} = v_j / (u_j + v_j) \\ P_{\text{off}} = u_j / (u_j + v_j) \quad (2)$$

考虑到指数分布的无记忆性,信道状态在当前忙时段或闲时段内的剩余时间概率密度函数 f_{B_r} 和 f_{I_r} 分别与 f_B 和 f_I 相等。实际系统中,认知用户可以通过最大似然估计法和置信区间估计等方法得到 u_j 和 v_j ^[4],从而估算出各个授权信道活动状态的统计概率。

2.2 周期性感知

周期性感知通常采用如图1所示的帧结构,主要由检测信道、协作融合和数据传输三部分构成。通过检测信道和协作数据融合确定检测信道的活动状态,并决定是否在下一步开始传输数据。其中检测信道和数据传输部分的对应参数是检测时长 T_m 和传输时长 T_d ,而协作融合部分所产生的协作开销 T_r 则与基站所采用的信息融合算法以及协作用户的数量有关。



图1 周期性感知的帧结构模型

Fig.1 The frame structure of periodic cooperative sensing

3 最佳检测时长

3.1 衰落信道下的能量检测

AWGN信道下,第 i 个次用户的检测概率和虚警概率分别用 P_{di} 和 P_{fi} 表示^[8]:

$$P_{di} = P\{Y_i > \lambda_i | H_1\} = Q_m(\sqrt{2m\gamma_i}, \sqrt{\lambda_i}) \quad (3)$$

$$P_{fi} = P\{Y_i > \lambda_i | H_0\} = 1 - \Gamma(\lambda_i/2, m) \quad (4)$$

式中, $i \in [1, N]$, H_0 和 H_1 分别表示假设不存在和存在主用户信号, λ_i 表示检测门限, W 表示信道带宽,则 $m = T_m W$, $Q_m(\cdot, \cdot)$ 表示Marcum Q函数, $\Gamma(\cdot, \cdot)$ 表示不完全的Gamma函数^[9]。

由式(4)可知,虚警概率 P_{fi} 只与本地噪声功率有关,因此 P_{fi} 是一致的。但衰落环境下信道增益发

生变化,导致信噪比 γ_i 随之变化,用 $f_{\gamma_i}(x)$ 表示 γ_i 的 PDF,则平均检测概率 \bar{P}_{di} 为^[9]

$$\bar{P}_{di} = \int_{\gamma_i} Q_m(\sqrt{2mx}, \sqrt{\lambda_i}) f_{\gamma_i}(x) dx \quad (5)$$

在衰落和阴影影响下, $\bar{\gamma}$ 为平均信噪比,其 dB 形式用 $\bar{\gamma}_{dB}$ 表示, $shadow_{dB}$ 和 $fading_{dB}$ 分别表示阴影和衰落影响因子。实际接收信噪比记为 γ ,其 dB 表示形式 γ_{dB} 可由三部分组成^[10]:

$$\gamma_{dB} = \bar{\gamma}_{dB} + shadow_{dB} + fading_{dB} \quad (6)$$

3.1.1 Rayleigh 信道

在信道特性服从 Rayleigh 分布时,信噪比 γ 的 PDF 可表示为^[8]

$$f_{\gamma}(x) = \frac{1}{\gamma} \exp\left(-\frac{x}{\gamma}\right) \quad (7)$$

检测概率理论计算的闭合表达式为^[9]

$$\bar{P}_d = \frac{\Gamma(m-1, \frac{\lambda}{2})}{\Gamma(m-1)} + e^{-\frac{\lambda}{2(1+m\bar{\gamma})}} \left(1 + \frac{1}{m\bar{\gamma}}\right)^{m-1} \cdot \left[1 - \frac{\Gamma\left(m-1, \frac{\lambda m \bar{\gamma}}{2(1+m\bar{\gamma})}\right)}{\Gamma(m-1)}\right] \quad (8)$$

3.1.2 Suzuki 信道^[10]

无线通信中,较大障碍物引起的信号阴影效应一般服从对数正态分布,即接收功率的 dB 形式服从正态分布, σ_{dB} 为对数阴影效应下方差的 dB 表示,将同时考虑经历 Rayleigh 衰落和对数阴影效应的信道称之为 Suzuki 信道。此时,信噪比 γ 的 PDF 可表示为

$$f_{\gamma}(x) = \int_0^{\infty} \frac{1}{s^2} \frac{10}{\ln 10} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{dB}}} \exp\left(-\frac{x}{s} - \frac{(10 \lg(s) - 10 \lg(\bar{\gamma}))^2}{2\sigma_{dB}^2}\right) ds \quad (9)$$

3.2 协作频谱感知

独立同分布的准静态衰落信道下,假设次用户的间距远小于次用户与主用户之间的距离,则各次用户的平均信噪比 $\bar{\gamma}$ 相同,且信噪比 γ 的 PDF 也一致。根据式(4)和式(5),次用户具有相同的平均检测概率 \bar{P}_d :

$$\bar{P}_d = \int_{\gamma} Q_m(\sqrt{2mx}, \sqrt{\lambda}) f_{\gamma}(x) dx \quad (10)$$

假设在协作过程中,基站采用轮循方式获取各次用户的本地决策,并进行决策硬融合,则协作开销时长与协作用户数量成正比,令协作检测开销系数为 τ ,则 $T_r = N\tau$ 。根据 OR 融合准则,协作的检测概

率 Q_d 和虚警概率 Q_f 分别为^[9]

$$Q_d = 1 - (1 - \bar{P}_d)^N \quad (11)$$

$$Q_f = 1 - (1 - P_f)^N \quad (12)$$

3.3 最佳检测时长的确定

根据主用户服务质量(QoS)的干扰容限要求,次用户的协作检测概率不得低于 Q_d^{\min} ,同时,从次用户的角度看,为保证其对空闲频谱的利用效率,协作虚警概率不得高于 Q_f^{\max} ^[9]。显然,在满足主、次用户对感知性能要求的前提下,检测时间越短,次用户用于数据传输的时间就越长,信道效率也就越高。此处为便于分析及求解,令 $Q_f = Q_f^{\max}$ 。由式(10)~(12)可知, $\partial \bar{P}_d / \partial T_m > 0$, $\partial Q_d / \partial \bar{P}_d > 0$,则 $\partial Q_d / \partial T_m > 0$,故本地最佳检测时长 T_m^* 可由下式推导并求得:

$$T_m^* = \arg \min_{T_m} Q_d^{\min}(T_m, Q_f^{\max}) \quad (13)$$

4 最佳传输时长

若协作感知判定本检测周期内的信道状态仍为空闲,则基站根据系统既定的竞争规则,选择一个次用户接入该信道进行数据传输,否则需要进行快速频段切换。在数据传输过程中,由于主用户活动是随机变化的,若传输时间选取过短,会降低空闲信道的频谱利用率;传输时间过长,则主用户重新使用该信道的概率增大,会造成对主用户的干扰。因此,必须在次用户的频谱效率与主用户的干扰保护之间进行权衡。考虑到数据传输过程中,主用户的重复出现将会造成主、次用户之间的相互干扰冲突(或称为碰撞),为了更好地描述这种碰撞对各自传输质量的影响,引入两个度量:有效传输时长比例和干扰传输时长比例^[5],分别用 η 和 κ 表示:

$$\eta = T_c / (T_m + T_r + T_d) \quad (14)$$

$$\kappa = T_e / (T_m + T_r + T_d) \quad (15)$$

式中, T_c 和 T_e 分别表示在传输时长 T_d 内,无干扰主用户的有效传输时长和干扰传输时长。显然, η 越大,表明对当前信道的有效利用率越高,因此可用 η 直接描述信道效率,同时为了保证对主用户 QoS 要求,必须满足 $\kappa \leq \epsilon$, ϵ 表示主用户系统所允许的干扰时长比例上限。

假设 N 个次用户协作感知某个信道,则可能存在两种情况判定该信道当前状态为空闲:一种情况是该信道实际状态为忙但发生了漏检,其后验概率

用 $P_{B|I}$ 表示;另一种是该信道实际状态为空闲而且能够被正确检测出来,其后验概率用 $P_{I|I}$ 表示。根据贝叶斯准则,得:

$$P_{B|I} = (1 - Q_d)P_{on} / ((1 - Q_d)P_{on} + (1 - Q_f)P_{off}) \quad (16)$$

$$P_{I|I} = (1 - Q_f)P_{off} / ((1 - Q_d)P_{on} + (1 - Q_f)P_{off}) \quad (17)$$

分别考虑上述情况下的有效传输时长比例和干扰时长比例,设当前信道状态的转移速率为 u 和 v 。第一种情况下,由于数据传输开始时刻的信道实际状态为忙,假设在数据传输开始后的 t 时刻,信道状态发生改变,则在传输时长 T_d 内的剩余时段 $T_d - t$ 为有效数据传输时段。显然 $t > T_d$,则不存在有效传输。而对于干扰时长,当 $t < T_d$ 时,干扰时长为 t ;当 $t > T_d$ 时,整个传输时长 T_d 均为干扰时长。根据信道占用模型,得到此情况下的有效传输时长 T_{B_c} 和干扰时长 T_{I_c} :

$$T_{B_c} = \int_0^{T_d} f_{Br}(t)(T_d - t)dt = T_d - \frac{1}{u}(1 - e^{-uT_d}) \quad (18)$$

$$T_{I_c} = \int_{T_d}^{\infty} f_{Br}(t)(T_d - t)dt + \int_0^{T_d} f_{Br}(t)t dt = \frac{1}{u}(1 - e^{-uT_d}) \quad (19)$$

类似地,在第二种情况下的有效传输时长 T_{I_e} 和干扰时长 T_{I_e} 分别为

$$T_{I_e} = \int_{T_d}^{\infty} f_{Ir}(t)T_d dt + \int_0^{T_d} f_{Ir}(t)t dt = \frac{1}{v}(1 - e^{-vT_d}) \quad (20)$$

$$T_{I_e} = \int_0^{T_d} f_{Ir}(t)(T_d - t)dt = T_d - \frac{1}{v}(1 - e^{-vT_d}) \quad (21)$$

故 T_d 内总的有效传输时长和干扰时长分别为

$$T_c = T_{B_c}P_{B|I} + T_{I_c}P_{I|I} \quad (22)$$

$$T_e = T_{B_e}P_{B|I} + T_{I_e}P_{I|I} \quad (23)$$

将式(18)~(21)分别代入式(14)和式(15),可得:

$$\eta = \frac{(T_d - \frac{1}{u}(1 - e^{-uT_d}))P_{B|I} + \frac{1}{v}(1 - e^{-vT_d})P_{I|I}}{T_m^* + N\tau + T_d} \quad (24)$$

$$\kappa = \frac{\frac{1}{u}(1 - e^{-uT_d})P_{B|I} + (T_d - \frac{1}{v}(1 - e^{-vT_d}))P_{I|I}}{T_m^* + N\tau + T_d} \quad (25)$$

根据以上分析,为使当前信道效率最高(即有效传输时长比例 η 最大),则最佳传输时长 T_m^* 为

$$T_d^* = \underset{T_d}{\operatorname{argmax}} \eta(T_d) \quad (26)$$

s. t. $\kappa(T_d) \leq \varepsilon$

显然,以上周期性感知时长的优化并不适用于

主用户状态快速变化的应用场景,因此,通常应规定传输时长要远小于占用周期和空闲周期,即 $T_d \ll 1/u$ 且 $T_d \ll 1/v$,对式(24)、(25)进行级数展开,可得近似值 η' 和 κ' 。

再通过求导可得最佳传输时长 T_d^* 的近似数值计算方法(因篇幅所限,详细推导过程略):

$$T_d^* = \min \left(\sqrt{(T_m^* + N\tau)^2 + \frac{2(T_m^* + N\tau)P_{I|I}}{vP_{I|I} - uP_{B|I}}} - (T_m^* + N\tau), \frac{\sqrt{(P_{B|I} - \varepsilon)^2 + 2(vP_{I|I} - uP_{B|I})(T_m^* + N\tau)\varepsilon - P_{B|I} + \varepsilon}}{vP_{I|I} - uP_{B|I}} \right) \quad (27)$$

5 仿真及讨论

根据以上分析及推导,本节对集中式协作感知的机制优化进行仿真。假设当前可用信道带宽 $W = 100$ kHz, $\bar{\gamma}_{dB} = 2$, $\tau = 5 \times 10^{-4}$, $Q_d^{\min} = 0.97$, $Q_f^{\max} = 0.03$, $\varepsilon = 0.03$,图 2 分别针对 AWGN、Rayleigh、Suzuki 3 种信道环境,给出了在不同信道占用条件下可达到的最大信道效率,其中协作用户数 $N = 2$,主用户活动状态参数 $u = 0.4$, $v = 0.1 \sim 0.4$ 。仿真表明,对于相同的系统性能要求,次用户在 AWGN 信道上对空闲频谱的利用率最高, Rayleigh 信道次之, Suzuki 信道最低。可见,信道的多径及阴影衰落效应对次用户的频谱利用效率有明显的负面影响。

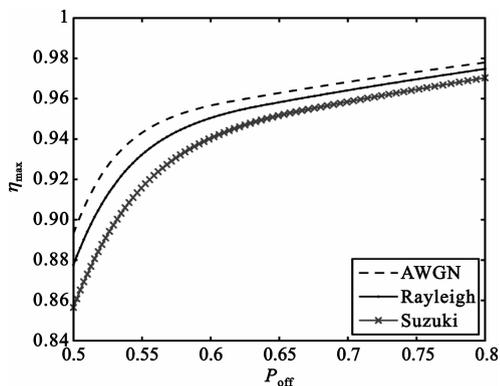


图 2 不同信道占用条件下的最大信道效率
Fig.2 The maximal channel efficiency with different scene of channel usage

图 3 以 Rayleigh 信道为例,给出了相应的最佳传输时长搜索值和近似值,其中的全局搜索值是根据式(26)采用遍历求解得到,近似值则直接根据式(27)求得。如图所示,近似推导的结果与数值搜索

的最优解能够很好地吻合。其中,图中曲线出现折点的原因是:最佳传输时长 T_d^* 的选取由 η 和 κ 两部分条件决定。从图 2 和图 3 的仿真结果可以看出,在满足主用户干扰容限的前提下,随着授权信道空闲概率的增大,次用户的最佳传输时长和频谱利用效率都将逐渐增大。

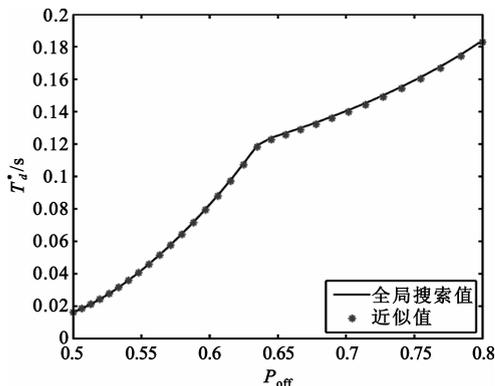


图 3 不同信道占用条件下的最佳传输时长
Fig.3 The optimal data transmission duration with different scene of channel usage

图 4 中比较了不同协作用户数量条件下的最大信道效率,其中,协作用户数 N 分别取 1、2、4、10。从图中可以明显看出,随着协作用户数量的增加,最大信道效率呈现先增后减的趋势,这主要是因为,在 OR 融合协作方案下,随着协作用户数的增多,一方面协作检测性能将增强,相应所需的观测时长减小,对提高信道效率有利;但另一方面协作开销也将明显增大,又制约了次用户的有效传输时长比例,对信道效率产生负面影响。因此,协作用户数量并不一定越多越好,只有根据实际情况,在协作开销和本地处理之间进行合理权衡,才能使次用户对空闲频谱利用率达到最高。

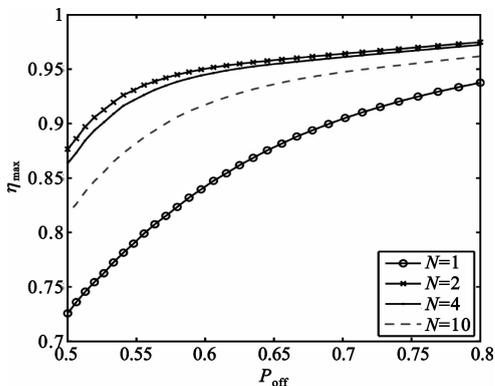


图 4 协作用户数量与信道效率的关系
Fig.4 The channel efficiency versus the number of cooperative users

6 结论

本文系统研究了衰落信道下的周期性协作感知机制的优化问题,在满足系统检测性能要求和干扰时长限制的条件下,给出了检测时长、传输时长以及协作用户数的机制参数的具体优化算法,实现信道利用效率的最大化。仿真结果表明,信道的衰落特性以及阴影效应对信道效率有一定的影响,通过协作感知可有效改善检测性能,但协作开销在一定程度上也会制约信道的有效利用率,故协作用户数量并不是越多越好,而应该根据具体的优化目标进行合理的选择。采用本文提出的机制优化方法,可获得最高的有效传输时长比例,从而大大提高次用户在信道的频谱利用率。

参考文献:

- [1] ZENG Y, LIANG Y, HOANG A T, et al. A review on spectrum sensing for cognitive radio: challenges and solutions[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2010 (1): 1 - 15.
- [2] 张宇,冯春燕,郭彩丽.基于可变间隔的认知无线电频谱检测机制[J].北京邮电大学学报,2008,31(2):128 - 131. ZHANG Yu, FENG Chun - yan, GUO Cai - li. A flexible sensing period mechanism of spectrum sensing in cognitive radio networks[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2008, 31(2): 128 - 131. (in Chinese)
- [3] GHASEMI A, SOUSA E S. Optimization of spectrum sensing for opportunistic spectrum access in cognitive radio networks [C]//Proceedings of 4th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference. Las Vegas, US: IEEE, 2007: 1022 - 1026.
- [4] KIM H, SHIN K G. Efficient discovery of spectrum opportunities with MAC - layer sensing in cognitive radio networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7(5): 533 - 545.
- [5] ZHOU X, LI Y, Young H K, et al. Detection Timing and Channel Selection for Periodic Spectrum Sensing in Cognitive Radio [C]//Proceedings of Global Telecommunications Conference. New Orleans, LA, USA: IEEE, 2008: 1 - 5.
- [6] 郭晨,彭涛,王文博.认知无线网络中合作频谱感知机制的优化[J].电子与信息学报,2009,31(7):1525 - 1530. GUO Chen, PENG Tao, WANG Wen - bo. Optimization of cooperative spectrum sensing mechanisms in cognitive radio networks[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2009, 31(7): 1525 - 1530. (in Chinese)
- [7] LI Y, ZHOU X, XU H, et al. Energy - efficient transmission in cognitive radio networks [C]//Proceedings of 7th IEEE Consumer Communications and Networking Conference. Las Vegas, NV, US: IEEE, 2010: 1 - 5.
- [8] DIGHAM F F, ALOUINI M, SIMON M K. On the energy

detection of unknown signals over fading channels [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Communications.[S.1.]: IEEE, 2003: 3575 - 3579.

- [9] GHASEMI A, SOUSA E S. Opportunistic spectrum access in fading channels through collaborative sensing[J]. Journal of Communications, 2007, 2(2): 71 - 82.
- [10] KYPEROUNTAS S, CORREAL N, SHI Q, et al. Performance analysis of cooperative spectrum sensing in Suzuki fading channels[C]//Proceedings of 2nd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications. Orlando, USA: IEEE, 2007: 428 - 432.

Email:sims_23@163.com

刘全(1985-),男,江西萍乡人,2006年于海军工程大学获工学学士学位,现为博士研究生,主要研究方向为认知无线电链路层关键技术、多抽样率信号处理理论及应用;

LIU Quan was born in Pingxiang, Jiangxi Province, in 1985. He received the B. S. degree from Naval University of Engineering in 2006. He is currently working toward the Ph. D. degree. His research interests include cognitive radio systems and multirate signal processing.

Email:liuquan.hjgc@gmail.com;alex-hjgc@163.com

高俊(1957-),男,江苏泰州人,1982年于海军电子工程学院获工学学士学位,1989年于北京理工大学获工学博士学位,现为教授、博士生导师,主要研究方向为软件无线电、数字通信理论与技术。

GAO Jun was born in Taizhou, Jiangsu Province, in 1957. He received the B.S. degree from Naval Electronic College of Engineering in 1982, and the Ph. D. degree in Electronic Engineering from Beijing Institute of Technology in 1989. He is now a professor and also the Ph.D. supervisor at Naval University of Engineering. His research interests include digital communications and software radio systems.

作者简介:

郭云玮(1983-),男,江西新余人,2004年于海军工程大学获工学学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为认知无线电频谱感知技术;

GUO Yun - wei was born in Xinyu, Jiangxi Province, in 1983. He received the B.S. degree from Naval University of Engineering in 2004. He is now a graduate student. His research direction is spectrum sensing technology for cognitive radio.

本刊论文被引频次前 10 位名单

序号	篇 名	作 者	年/期	被引频次
1	无线网格网关键技术及其应用	傲丹;方旭明;马忠建	2005/02	67
2	一种语音段起止端点检测新方法	李祖鹏;姚佩阳	2000/03	67
3	基于 GPRS 数据传输智能终端的实现	胡科;蔡方凯;胡蓉	2003/05	62
4	射频识别技术及其在交通领域的应用	李元忠	2002/05	62
5	正交多载波调制(OFDM)技术及其应用	赵亚红;李伟华;吴伟陵	2001/01	57
6	FPGA 实现高速 FFT 处理器的设计	韩颖;王旭;吴嗣亮	2003/02	45
7	信息融合的原理与方法概述	涂小强	2000/03	45
8	无线光通信中的 PPM 调制	汪井源;张正线	2000/05	43
9	RS 码编码和译码的算法	朱起悦	1999/02	38
10	一种基于能量优化的无线传感网络自适应组织结构 and 协议	黄进宏;左非;曾明	2002/06	36

本刊论文下载频次前 10 位名单

序号	篇 名	作 者	年/期	下载频次
1	认知无线电研究综述	周贤伟;孟潭;王丽娜;张雪松;李超	2006/06	989
2	一款基于 LM324 集成运放廉价高性能仪用放大器	谭建军	2004/03	880
3	一种基于 DDS 芯片 AD9850 的信号源	肖汉波	2003/02	820
4	MIMO 技术的发展与应用	赵亚男;张禄林;吴伟陵	2005/01	755
5	认知无线电在未来多媒体移动通信中的应用	叶佩军;安建平	2004/02	746
6	综合化航空电子系统发展历程及重要支撑技术	何志强	2004/04	633
7	毫米波相控阵雷达及其应用发展	石星	2008/01	573
8	毫米波雷达的应用和发展	石星	2006/01	570
9	RS 码编码和译码的算法	朱起悦	1999/02	582
10	利用 ADS 软件设计 X 频段低噪声放大器	唐海啸;张玉兴;杨陈庆;杨玉梅	2006/01	566

注:来源于中国知网中国学术期刊网络出版总库(<http://acad.cnki.net>),统计日期截至 2011 年 1 月 12 日。