

基于改进 D-S 证据理论的频谱感知算法

张学军^{1,2}, 唐小丽², 田 峰¹

(1. 南京邮电大学 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210003;
2. 南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003)

摘 要: 由于受多径衰落、阴影效应等因素的影响, 单个认知用户常常不能提供非常可靠的感知结果, 因此提出了融合多个认知用户感知结果的协作频谱感知算法来提高频谱感知性能。针对协作频谱感知算法中, 忽略了不同认知用户的环境差异, 以及 D-S 证据理论合成规则中, 忽略了证据之间的相对冲突问题, 提出了一种基于改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法。该算法选择能量检测法得到本地感知结果, 再利用改进的 D-S 证据理论对感知结果进行融合和判决。通过仿真验证了所提算法相比于 D-S 证据理论和硬判决的协作感知算法, 在感知性能上有明显的提高。

关键词: 认知无线电; 频谱感知; 信任度; Dempster-Shafer 证据理论

中图分类号: TN915.01

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)06-0044-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.06.011

A Spectrum Sensing Algorithm Based on Improved D-S Evidence Theory

ZHANG Xue-jun^{1,2}, TANG Xiao-li², TIAN Feng¹

(1. Key Laboratory of Broadband Wireless Communication and Sensor Network Technology of Ministry of Education, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;
2. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Due to the multipath fading and shadow effect that would influence the transmission quality, a single cognitive user always cannot provide very reliable sensing results, then the cooperative spectrum sensing algorithm has been proposed to improve the spectrum sensing performance through fusing the results of a set of cognitive users. In order to solve the problem that conventional multi-user cooperative spectrum sensing ignores the difference of environments and Dempster-Shafer evidence theory combining rule neglects the extent of evidence conflicts, a spectrum sensing algorithm based on improved D-S evidence theory is proposed. This algorithm selects the energy detection method to get the local sensing result, which is fused and judged on the through the fusion rules of improved D-S evidence theory. Experiments show that the proposed algorithm has a better performance than conventional cooperative spectrum sensing algorithm based on D-S evidence theory and hard-decisions.

Key words: cognitive radio; spectrum sensing; credibility; Dempster-Shafer evidence theory

1 概 述

无线通信技术的飞速发展使得频谱资源变得越来越紧张, 有限的频谱资源与急速增长的频谱资源需求之间的矛盾也日益突出。与此同时, 在传统的“条块分割”的固定频谱分配政策下, 全球频谱资源的利用表现出了高度的不平衡性和不合理性, 这种静态的频

谱资源管理方式大大限制了频谱资源的利用率^[1]。为了应对这种频谱资源紧张而已分配频谱又利用不足的问题, 提出了认知无线电 (Cognitive Radio, CR)^[2]的概念。认知无线电允许认知用户自适应地动态地感知周围环境中的“频谱空穴” (即未被使用的授权频带), 机会式地接入该“频谱空穴”上进行信号传输, 以实现对于空闲频谱的二次利用, 因此也使得认知无线电技术

收稿日期: 2013-08-25

修回日期: 2013-11-27

网络出版时间: 2014-02-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60973140, 61001077, 61170276); 南京邮电大学自然科学基金项目 (NY211076)

作者简介: 张学军 (1969-), 男, 江苏南通人, 博士, 教授, 硕导, 研究方向为无线射频识别技术、通信网络的性能分析、流量控制、QoS 理论与技术等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140224.0916.041.html>

引起了人们的关注^[3-4]。频谱感知技术是认知无线电的关键技术之一,也是确保认知无线电成功运用的前提^[5]。由于无线信道中多径衰落、阴影效应等因素的影响,单个认知用户进行频谱感知时会发生“隐蔽终端”问题^[6],即有时无法判断某一时刻频谱是处于空闲的状态还是授权信号经过无线信道传输已经处于深度的衰落状态^[7]。为了解决这个问题,提出了通过融合多个认知用户的感知结果的协作频谱感知算法来提高认知无线电频谱感知性能^[8-9]。

文献[10]针对传统的硬融合算法忽视认知用户检测可靠性差异,同等对待所有本地判决问题,提出了一种改进的基于 K 秩硬判决的多用户协作频谱感知算法。文献[11]则选择对本地感知中的能量检测法以及参与协作频谱感知的认知用户的数目进行优化。在许多已有的协作感知方法里无论各认知用户所处信道条件的好坏,融合中心均同等对待它们的检测结果。而实际上不同认知用户与同一授权用户之间的信道环境以及距离均不相同,其检测结果的可靠性也是不一样的。离授权用户距离近,信道条件好的认知用户感知可靠性较高;离授权用户距离远,信道条件差的认知用户感知可靠性较低。根据文献[12-13]可知,每个认知用户根据它的本地感知结果被分配不同的信任度,根据 D-S 证据理论融合所有认知用户的感知结果,相比传统的“OR”,“AND”融合规则,频谱感知性能有明显的提高。文献[14]提出了一种基于 D-S 证据理论的加权协作频谱检测算法,利用两种假设检验条件下统计量的方差和均值来评估认知用户可信度的差异性来给出各个认知用户可信度的权重,但上述算法均未考虑到 D-S 证据理论中的证据冲突问题,因此文中提出了一种基于改进的 D-S 证据理论的频谱感知算法。

算法的基本思想是首先选择能量检测法得到本地感知结果;然后针对 D-S 证据理论中证据冲突,融合失效的问题,对 D-S 证据理论进行改进,利用一种新的相似度函数表示证据的相似度,通过归一化处理得到证据的支持度,完成对证据的预处理;再利用改进后的 D-S 证据理论对本地感知结果进行融合和判决,最后利用 MATLAB 对该算法进行性能仿真分析,验证了该算法与基于 D-S 证据理论的感知算法相比,感知性能有明显的提高。

2 D-S 证据理论以及改进规则的研究

2.1 标准的 D-S 证据理论简介

证据理论是 Dempster 于 1967 年最先提出的,后来由 G. Shafer 对证据理论做了进一步的研究并加以扩充和发展,引入信任度函数相关的概念,所以又称为 D

-S 证据理论^[15]。

对于随机的一个判决问题,把所能认识到的可能取值用一个集合 Ω 表示, Ω 称为识别框架,且假设所有在 Ω 内的元素间是互不相容的。证据理论定义了一个从 $2^\Omega \rightarrow [0,1]$ 的函数 m 称为基本概率赋值函数 (Basic Probability Assignment, BPA), m 满足下列条件:

$$m(\emptyset) = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{A \subseteq \Omega} m(A) = 1 \quad (2)$$

对于任意 $A \subseteq \Omega$, $m(A)$ 表示基于给定的条件下对事件 A 的精确信任程度,也称作证据。假设识别框架 Ω 一个子集 A , 具有 $m(A) > 0$, 称 A 为函数 m 的焦元。令 m_1 和 m_2 分别表示识别框架 Ω 里两个相互独立的 BPA, 其焦元分别为 A_1, A_2, \dots, A_k 和 B_1, B_2, \dots, B_k , 令

$$K = \sum_{\substack{k,n \\ A_i \cap B_n}} m_1(A_k) m_2(B_n) < 1 \quad (3)$$

其中, K 是冲突因子,反映了证据之间的冲突程度。

那么由标准的 D-S 证据理论融合规则,可得到一个新的总体概率赋值 $m = m_1 \oplus m_2$, 定义如下:

$$m(C) = \begin{cases} K = \sum_{\substack{k,n \\ A_i \cap B_n}} m_1(A_k) m_2(B_n) < 1/1 - K, C \neq \emptyset \\ 0, C = \emptyset \end{cases} \quad (4)$$

2.2 基于标准的 D-S 融合规则的改进

根据标准的 D-S 合成规则的冲突因子 K 定义可知: K 的值越大,证据之间的冲突就越大,当 $K=1$ 时,标准合成规则就已经不可用;当 $K \rightarrow 1$ 时,得到的结果可能与事实结果不一致。导致这种情况的原因是各个传感器传出的信息的重要性不一致,但是它并没有区分这种不等性,文献[16]通过借助信任度分配函数的差值比来构造相似度函数,对算法进行改进。

定义 1: 假设识别框架 Ω 含有 p 种完备的互不相容的假设命题,那么其幂集 $2^\Omega = (A_1, A_2, \dots, A_{2^p})$, n 个证据的基本信任度分配函数分别为 m_1, m_2, \dots, m_n , 证据 $m_i(A_k)$ 和 $m_j(A_k)$ 的相似度函数定义为:

$$S_{ij}(A_k) = 1 - \frac{|m_i(A_k) - m_j(A_k)|}{\max(m_i(A_k), m_j(A_k))} \quad (5)$$

定义 2: 证据 $m_i(A_k)$ 的支持度和信任度分别为:

$$\text{Sup}_i(A_k) = \prod_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n S_{ij}(A_k) \quad (k = 1, 2, \dots, 2^p) \quad (6)$$

$$\text{Cre}_i(A_k) = \frac{\text{Sup}_i(A_k)}{\sum_{j=1}^n \text{Sup}_i(A_k)} \quad (k = 1, 2, \dots, 2^p) \quad (7)$$

由于 $\sum_{i=1}^n \text{Cre}_i(A_k) = 1$, 所以它可以作为证据 $m_i(A_k)$ 的权值。

现假设决策系统里有 n 个证据,且各个证据之间存在着相互冲突,改进的算法过程如下:

(1) 根据式(5)~(7),计算出每个证据的信任度 $\text{Cre}_i(A_k)$ 。

(2) 以信任度 $\text{Cre}_i(A_k)$ 为权值,对所有的目标焦元做加权平均,并且归一化得到最终的合成平均证据 $m_{\text{mean}}(A_k)$:

$$m_{\text{mean}}(A_k) = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Cre}_i(A_k) m_i(A_k)}{2^p} \quad (k = 1, 2, \dots, 2^p) \quad (8)$$

$$m_{\text{mean}}(A_k) = \frac{m_{\text{mean}}(A_k)}{\sum_k m_{\text{mean}}(A_k)} \quad (k = 1, 2, \dots, 2^p) \quad (9)$$

(3) 用 $m_{\text{mean}}(A_k)$ 代替 n 个证据原来的信任度函数,根据式(4)对最终的平均证据 $m_{\text{mean}}(A_k)$ 进行 $(n-1)$ 次融合。

3 基于改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法

3.1 本地感知中的能量检测法

认知无线电中认知用户的可用频谱机会主要取决于授权用户的占用情况,所以认知用户频谱感知模型可以表示为二元假设模型^[17]。设 H_1, H_0 分别表示授权用户信号存在和不存在的两种情况, $r(t)$ 为认知用户接收到的授权信号, $s(t)$ 为授权用户的发射信号, $g(t)$ 为授权用户与认知用户之间的信道增益, $n(t)$ 为加性高斯白噪声,则感知模型可以表示为

$$r(t) = \begin{cases} g(t) \cdot s(t) + n(t) & H_1 \\ n(t) & H_0 \end{cases} \quad (10)$$

文中的本地感知方法选择能量检测法,能量检测法通过测量一段观测空间内的接收信号总能量来判断是否有授权用户信号出现,其实现流程图如图 1 所示。

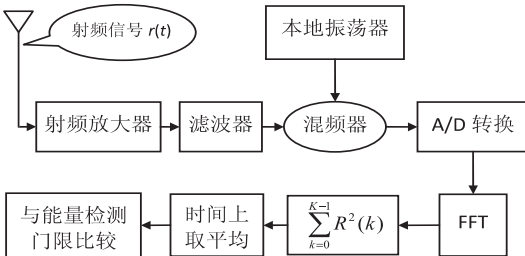


图 1 能量检测算法流程图

由图 1 可见,能量检测法中天线接收到的射频信号 $r(t)$,经过射频放大,滤波后与本振信号进行混频处理,再经过 A/D 转换并且进行 FFT 变换后,对其平方和构建判决统计量为

$$Y = \sum_{k=0}^{K-1} R^2(k) \quad (11)$$

文献[18]中指出该判决统计量服从卡方分布,即

$$Y = \begin{cases} \chi_{2\mu}^2(2\gamma) & H_1 \\ \chi_{2\mu}^2 & H_0 \end{cases} \quad (12)$$

式中, μ 是时域带宽积; γ 是信道的 SNR; $\chi_{2\mu}^2(2\gamma)$ 是以 2γ 为参数的非中心卡方分布; $\chi_{2\mu}^2$ 是中心卡方分布,二者的自由度均为 2μ 。

在 AWGN 信道下,若设 λ 为能量检测的判决门限,则 P_d, P_f 可以表示为

$$P_d = P_r(Y > \lambda | H_1) = Q_\mu(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda}) \quad (13)$$

$$P_f = P_r(Y > \lambda | H_0) = \frac{\Gamma(\mu, \frac{\lambda}{2})}{\Gamma(\mu)} \quad (14)$$

式中, Q_μ 为 Generalized Marcum Q 函数; $Q_\mu(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left\{-\frac{t^2}{2}\right\} dt$; $\Gamma(\cdot)$ 和 $\Gamma(\cdot, \cdot)$ 为完全和不完全的 Gamma 函数,并且抽样数 K 满足条件 $K \sim 1/\text{SNR}^2$ 。

3.2 感知结果的信任度的计算和最终判决

在上述能量检测法的分析中,由中心极限定理可知,采样点足够大时统计量服从高斯分布,因此文中假定当采样数 $K > 250$ 的时候,统计量 Y 服从正态分布,即:

$$X_{E_i} \sim \begin{cases} N(\mu_0, \sigma_0^2) & H_0 \\ N(\mu_1, \sigma_1^2) & H_1 \end{cases} \quad (15)$$

其中, μ_0 和 σ_0^2 分别表示高斯分布的均值和方差, $\mu_0 = NP_n, \mu_1 = N(P_s + P_n), \sigma_0^2 = 2NP_n, \sigma_1^2 = 2N(P_n^2 + 2P_n P_s)$ 。 P_s, P_n 分别表示信号和噪声的平均功率。那么,在假设 H_0, H_1 成立的情况下,用户 i 的基本概率赋值函数为:

$$H_0: m_i(H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left(-\frac{(x_{E_i} - \mu_0)^2}{\sigma_0^2}\right) \quad (16)$$

$$H_1: m_i(H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left(-\frac{(x_{E_i} - \mu_1)^2}{\sigma_1^2}\right)$$

所以,根据 D-S 证据理论,在焦元 H_0 和 H_1 组合的识别框架 Ω 中,用户 SU_i 对 H_0 和 H_1 两种假设的信任度和对整个检测的不确定度满足条件:

$$m_i(H_0) + m_i(H_1) + m_i(\Omega) = 1 \quad (17)$$

然后根据式(16)、(17)计算出信任度 $m_i(H_0), m_i(H_1), m_i(\Omega)$ 后,将其送至决策中心处,根据决策结果最终判断授权用户信号是否存在,算法如图 2 所示。

在决策中心处,根据上述式(5)~(9)对认知用户证据进行预处理,解决认知用户证据之间的冲突问题,完成对 D-S 证据理论的改进。再利用改进后的 D-S 证据理论融合规则,对各个认知用户的基本概率赋值函数进行数据融合,令

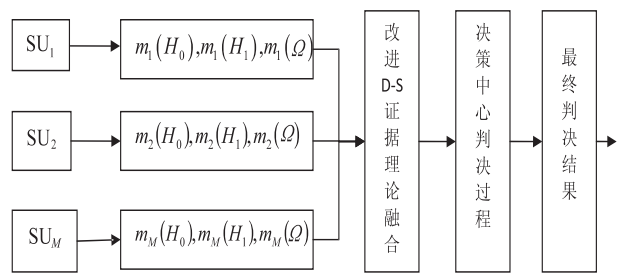


图2 基于改进的证据理论的融合规则

$$m_m(H_0), m_m(H_1), m_m(\Omega)$$

$$\begin{aligned} m(H_1) &= m_1(H_1) \oplus m_2(H_1) \oplus \cdots \oplus m_N(H_1) \\ m(H_0) &= m_1(H_0) \oplus m_2(H_0) \oplus \cdots \oplus m_N(H_0) \end{aligned} \tag{18}$$

最后的判决策略是

$$\begin{cases} m(H_1) \geq m(H_0) & \text{主用户存在} \\ m(H_1) < m(H_0) & \text{主用户不存在} \end{cases}$$

4 仿真分析

不失一般性,文中假设有 10 个认知用户参与到各种融合规则的合作频谱感知仿真中,在提出的合并规则中,传输的信号均是通过 AWGN 信道传输。各个认知用户的本地频谱感知均采用能量检测法,假设每个认知用户的信噪比也是相同的,仿真结果如图 3 和图 4 所示。

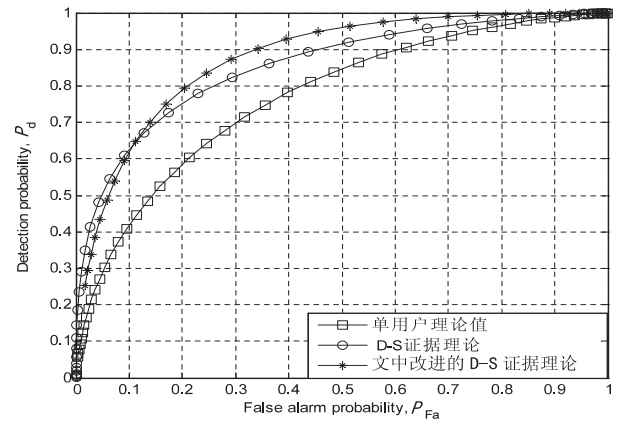


图3 单用户和改进前后的融合规则的性能曲线比较

图3给出了单用户频谱感知算法、基于 D-S 证据理论的协作频谱感知算法以及基于改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法的性能曲线,其中单用户频谱感知算法中是一次的采样数据的检测概率。当 P_{Fa} 分别为 0.1, 0.3, 0.5 时,单用户频谱感知算法中 P_d 对应为 0.4, 0.7, 0.85, 基于 D-S 证据理论的协作频谱感知算法中 P_d 对应为 0.6, 0.82, 0.92, 基于改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法中 P_d 对应为 0.6, 0.88, 0.97。即可以看出在虚警概率一定的情况下,基于 D-S 证据理论和改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法的检测概率相比于单用户频谱感知算法均有明显

的提高,且基于改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法的检测概率最高。由图 3 还可以看出,在检测概率一定的情况下,基于 D-S 证据理论和改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法的虚警概率相比于单用户频谱感知算法也有明显的下降,且基于改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法的虚警概率最小。因此可以说明相比于基于 D-S 证据理论的协作频谱感知算法,基于改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法的感知性能有显著的提高。

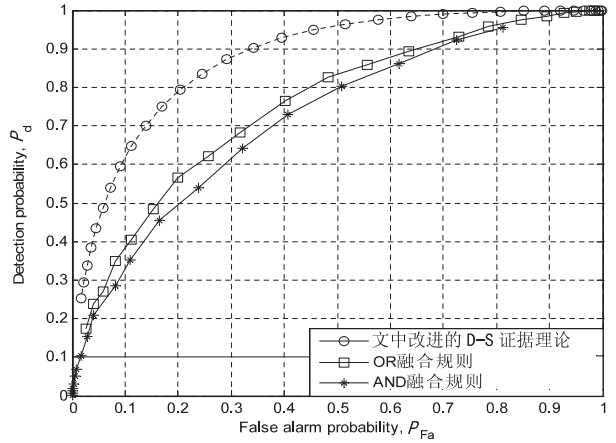


图4 各种融合规则的性能曲线比较

图4给出了协作频谱感知算法中“OR”和“AND”融合规则与基于改进的 D-S 证据理论融合规则的性能曲线。由图4可以看出,在虚警概率一定的情况下,基于改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法的检测概率相比于“OR”和“AND”融合算法有明显的提高;在检测概率一定的情况下,文中所提的融合算法的虚警概率相比于“OR”和“AND”融合算法有明显的下降。因此,文中所提出的基于改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法比传统的硬判决协作频谱感知算法在感知性能上也有了显著的改善。仿真结果表明了基于改进的 D-S 证据理论的协作频谱感知算法在相同感知环境和协同感知用户数的情况下,感知性能优于传统的感知算法,并且在信噪比不相等的环境中,仍具备良好的感知性能,适用范围更广。

5 结束语

文中针对协作频谱感知算法中忽略了各个不同认知用户的环境差异,以及 D-S 证据理论合成规则中忽略了证据之间的相对冲突问题,提出了一种基于改进的 D-S 证据理论的频谱感知算法,并利用改进后的 D-S 证据理论融合规则对感知结果进行融合和判决,以此来提高频谱感知性能。仿真结果表明文中所提出的算法在性能上优于基于 D-S 证据理论的协作频谱感知算法以及基于“OR”,“AND”融合规则的频谱感知算法。

参考文献:

- [1] Haykin S. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(2): 201-220.
- [2] Mitola J, Maquire G Q. Cognitive radios: making software radios more personal [J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(4): 13-18.
- [3] 张平, 冯志勇. 认知无线网络[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [4] 陈光桢, 普拉萨德. 认知无线网络[M]. 许方敏, 李虎生, 译. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [5] Yang L, Song S H, Letaief K B. Optimizing spectrum sensing efficiency in cognitive radio networks[C]//Proc of conference on computing, communications and applications. Hong Kong: IEEE, 2012: 262-266.
- [6] Xie Jingquan, Chen Jin, Wu Ducheng. Cooperative spectrum sensing for cognitive radios over fading channels[C]//Proc of 2nd international conference on computer science and technology. Changchun: IEEE, 2012: 1962-1966.
- [7] Zhang Nannan, Chen Huifang, Xie Lei. A communication-overhead-aware cooperative spectrum sensing scheme in cognitive radio networks[C]//Proc of international conference on wireless communications & signal processing. Huangshan: IEEE, 2012: 1-5.
- [8] Zhou Ming, Shen Jiafeng, Chen Huifang, et al. A cooperative spectrum sensing scheme based on the Bayesian reputation model in cognitive radio networks [C]//Proc of WCNC. Shanghai: IEEE, 2013: 614-619.
- [9] Srinu S, Sabat S L, Udgata S K. Cooperative spectrum sensing under noisy control channel for cognitive radio network[C]//Proc of national conference on communications. New Delhi, India: IEEE, 2013: 1-5.
- [10] 王雪梅, 张登银, 成卫青. 一种基于信任度的自适应合作频谱感知方法[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(3): 53-55.
- [11] Liu Quan, Gao Jun, Cheng Lesheng. Optimization of energy detection based cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks[C]//Proc of international conference on wireless communications and signal processing. Suzhou, China: IEEE, 2010: 1-5.
- [12] Peng Qihang, Zeng Kun, Wang Jun, et al. A distributed spectrum sensing scheme based on credibility and evidence theory in cognitive radio context[C]//Proc of IEEE 17th international symposium on personal, indoor and mobile radio communications. Helsinki: IEEE, 2006: 1-5.
- [13] Nguyen-Thanh N, Koo I. An enhanced cooperative spectrum sensing scheme based on evidence theory and reliability source evaluation in cognitive radio context[J]. IEEE Communications Letters, 2009, 13(7): 492-494.
- [14] 周亚建, 刘凯, 肖林. 基于D-S证据理论的加权协作频谱检测算法[J]. 通信学报, 2012, 33(12): 19-24.
- [15] Shafer G. A mathematical theory of evidence[M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1976.
- [16] 梁威, 魏宏飞, 周锋. D-S证据理论中一种冲突证据的融合方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(6): 144-146.
- [17] 郭彩丽, 冯春燕, 曾志民. 认知无线网络技术及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- +++++
- (上接第43页)
- [3] 刘步林, 蔡启仲. 可移动的雨量监测预警一体机的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(4): 194-197.
- [4] Zhu Enguo, Liu Xuan. Construction and application of electric energy information acquisition system [C]//Proc of 2011 IEEE 3rd international conference on communication software and networks. Xi'an: [s. n.], 2011: 114-116.
- [5] 田斌, 李德胜. 水利普查空间数据采集的体会[J]. 中国水利, 2012(2): 50-51.
- [6] 魏山峰, 王桥, 罗海江, 等. 中国环境监测总站地表水环境监测空间信息平台系统研建[J]. 中国环境监测, 2008, 24(2): 31-36.
- [7] 汪敏, 王丁, 周东. 基于电子表单技术的多渠道数据采集在综合卫生管理信息平台建设中的应用[J]. 中国卫生信息管理杂志, 2010, 7(1): 43-47.
- [8] 吴德华, 鄢志辉. 基于数据中心集成开发技术的动静脉矿业信息系统研究[J]. 计算机工程与科学, 2012, 34(5): 190-193.
- [9] 邵帅, 张宏科, 徐怀松. Sink 轨迹固定传感器网络的高效数据采集机制[J]. 软件学报, 2010, 21(1): 147-162.
- [10] 史晓锋, 李铮, 蔡志权. 基于DSP的高速数据采集与处理系统[J]. 电子技术应用, 2001, 27(6): 78-80.
- [11] 谢振国, 凌捷. 网络安全预警系统的研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(11): 250-253.
- [12] 田冲, 李兴国. Web 软件系统事务处理模型设计[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(10): 62-65.
- [13] 张屹. 关于远程方法调用(RMI)的实现[J]. 科技信息, 2010(15): 475-475.
- [14] 李上康. 测绘地理信息系统建设中的数据采集工作研究[J]. 科技创新导报, 2012(28): 130-131.
- [15] 梁波, 王锋, 邓辉, 等. 高速网络环境下的数据采集技术[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(7): 29-30.
- [16] 王永志, 林燕, 李景朝, 等. 全国矿业权实地核查数据采集与信息系统建设[J]. 中国矿业, 2011, 20(7): 45-49.
- [17] Ung G W, Koh L M, Lee P H, et al. A flexible data acquisition system for energy information[C]//Proc of IPEC. Singapore: [s. n.], 2010: 853-857.
- [18] Fontaras G, Martini G, Manfredi U, et al. Assessment of on-road emissions of four Euro V diesel and CNG waste collection trucks for supporting air-quality improvement initiatives in the city of Milan[J]. Science of the Total Environment, 2012, 426: 65-72.

基于改进D-S证据理论的频谱感知算法

作者:

张学军, 唐小丽, 田峰, [ZHANG Xue-jun](#), [TANG Xiao-li](#), [TIAN Feng](#)

作者单位:

[张学军, ZHANG Xue-jun\(南京邮电大学 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210003; 南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003\), 唐小丽, TANG Xiao-li\(南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京, 210003\), 田峰, TIAN Feng\(南京邮电大学 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 江苏 南京, 210003\)](#)

刊名:

[计算机技术与发展](#)

英文刊名:

[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期):

2014(6)

本文链接: http://d. g. wanfangdata. com. cn/Periodical_wj fz201406011. aspx