

## 双门限协作能量检测性能分析

邹丽<sup>1</sup>, 陈佳佳<sup>2</sup>

(1. 南通大学 电子信息学院, 江苏 南通 226019;  
2. 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

**摘要:**传统的单门限能量检测,如果有突发噪声或者其它因素,产生误检的概率会比较大。使用基于OR准则的双门限协作能量检测算法,检测时对每个用户设定两个判决门限,利用多个用户检测结果进行OR准则协作判决,提升检测性能。数值仿真结果表明,这一方法能够提高频谱检测概率、抑制漏检率。当信噪比较低、认知用户数 $N=5$ 时,双门限性能最高要比单门限高出22%;认知用户数 $N=10$ 时,双门限性能最高要比单门限高出17%。实际应用中,低信噪比的恶劣环境居多,因此双门限检测具有不可比拟的优势,应用空间非常广阔。

**关键词:**认知无线电;单门限;双门限;协作能量检测

**中图分类号:**TN911 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2014)04-0005-04

认知无线电<sup>[1]</sup>已经成为一个有效解决频谱使用效率低下的理论。频谱检测技术是认知无线电中非常重要的环节,而能量检测技术<sup>[2]</sup>是频谱检测中最常用的方法。传统的单门限能量检测,如果有突发噪声或者其它的干扰因素,产生误检测的概率非常大,对主用户接入频谱的优先权和认知用户及时使用系统都产生影响。针对这种情况,可以在传统单门限的基础上再增加一个检测门限,成为双门限能量检测算法。众所周知,认知用户之间的协作检测能够提升频谱检测的可靠性<sup>[3,4]</sup>。多个认知用户之间协作检测能够改进单用户能量检测算法的缺陷,因此,可使用协作能量检测算法代替单用户能量检测算法。

文献[5]分析了单门限协作能量检测算法性能,文献[6]分析了单门限协作能量检测算法,并与单门限单用户能量检测算法做比较,得出单门限协作能量检测算法的性能;文献[7]分析了双门限单用户能量检测算法在高斯信道下的检测性能。本文使用基于OR准则的双门限协作能量检测算法,分析其检测性能,并与单门限单用户能量检测算法和单门限协作用户能量检测算法做比

较,依据现有的检测性能推导公式,通过数值仿真,得出双门限协作能量检测算法优于单门限能量检测算法的结论。

### 1 单门限能量检测

如图1所示,单门限能量检测算法仅仅使用一个检测门限值( $V_{th}$ )。如果接收到的信号能量 $V$ 大于 $V_{th}$ 时,判定为出现了主用户,描述为事件 $H_1$ ;否则,就认定主用户没有出现,描述为事件 $H_0$ 。

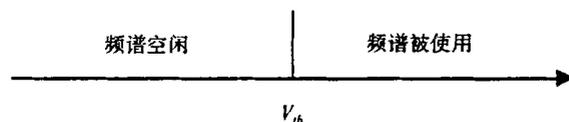


图1 单门限能量检测图  
Fig.1 Schematic diagram of single - threshold energy detection

在无线衰落条件下,运用能量检测方法,能够依次算出检测概率、虚警概率以及漏检概率<sup>[8]</sup>:

$$P_d = P_r\{V > V_{th} | H_1\} = Q_u(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{V_{th}}) \quad (1)$$

收稿日期:2014-07-10

基金项目:南通市应用研究计划基金(BK2013052)

作者简介:邹丽(1981-),女,江苏南通人,讲师,博士生,主要研究方向为认知无线电、压缩感知和宽带无线通信技术。

$$P_f = P_r\{V > V_{th} | H_0\} = \frac{\Gamma(u, V_{th}/2)}{\Gamma(u)} \quad (2)$$

$$P_m = P_r\{V \leq V_{th} | H_1\} \quad (3)$$

式(1)、式(2)、式(3)中,  $\gamma$  代表认知用户所收到的信噪比,  $V_{th}$  代表门限值,  $Q_u(a, b)$  代表阶数是  $u$  的归一化伽马函数, 也就是非完全的伽马函数, 而且是参数  $b$  的单调减函数,  $\Gamma(a)$  代表完全的伽马函数。

$N$  个认知用户运用单门限协作检测算法时, 假定有几个中心节点检测到认知用户发送的检测结果, 接着中心节点将收到的检测结果运行协作检测。最普遍的协作准则是 OR 准则<sup>[9]</sup>, 也就是最少有一个认知用户探测到主用户的信号, 那么就判定出现了主用户信号, 当且仅当全部认知用户都没有检测到主用户信号时, 才判定为尚未出现主用户信号。依据 OR 规则, 能够算出  $N$  个认知用户运用单门限协作检测时候的检测概率、虚警概率以及漏检概率<sup>[10]</sup>:

$$Q_d = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{d,i}) \quad (4)$$

$$Q_f = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{f,i}) \quad (5)$$

$$Q_m = \prod_{i=1}^N P_{m,i} \quad (6)$$

式(4)、式(5)、式(6)中  $P_{d,i}$ 、 $P_{f,i}$ 、 $P_{m,i}$  分别表示第  $i$  个认知用户的检测概率、虚警概率以及漏检概率。

## 2 双门限能量检测

如图 2 所示, 在传统只有一个检测门限的基础上再添加一个检测门限, 使之成为拥有两个检测门限  $V_{th0}$  和  $V_{th1}$  的能量检测算法<sup>[11]</sup>。当然, 只有当  $V > V_{th1}$  或者  $V < V_{th0}$  时才能检测出主用户信号的出现或者尚未出现(依次对应事件  $H_1$  或  $H_0$ ), 如主用户信号出现, 则记录其检测值。

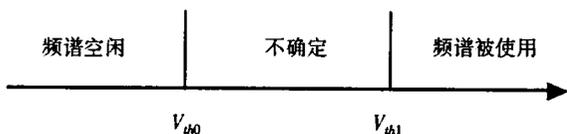


图 2 双门限能量检测  
Fig. 2 Schematic diagram of double-threshold energy detection

假定在状态  $H_0$  和  $H_1$  下判定落在  $(V_{th0}, V_{th1}]$  内的不确定概率分别是

$$\Delta_0 = P_r\{V_{th0} < V^t \leq V_{th1} | H_0\} \quad (7)$$

$$\Delta_1 = P_r\{V_{th0} < V^t \leq V_{th1} | H_1\} \quad (8)$$

双门限单用户独立检测时的检测概率、漏检概率、虚警概率依次求得如下<sup>[12]</sup>:

$$P'_{d,i} = P_r\{V'_i > V_{th1} | H_1\} = Q'_u(\sqrt{2\gamma'}, \sqrt{V_{th1}}) \quad (9)$$

$$P'_{m,i} = P_r\{V'_i \leq V_{th0} | H_1\} = 1 - P_r\{V_{th0} < V'_i \leq V_{th1} | H_1\} - P_r\{V'_i > V_{th1} | H_1\} = 1 - \Delta_{1,i} - P'_{d,i} \quad (10)$$

$$P'_{f,i} = P_r\{V'_i > V_{th1} | H_0\} = \frac{\Gamma(u', V_{th1}/2)}{\Gamma(u')} \quad (11)$$

结合协作的方法以及多门限能量检测方法, 可使用一种以多用户协作为基准的双门限协作能量检测算法: 假定认知网络的方式是集成的, 单个认知用户把探测结果传送给中心节点, 让中心节点进行最后的协作检测。检测时, 单个认知用户独立探测主用户信号, 并将本地探测结果发给中心节点, 如果检测结果位于两个门限之间, 中心节点运用最大比合并的融合算法进行计算, 并运用 OR 规则进行最终判定融合。运用 OR 规则是为了最大程度减小对主用户使用产生的影响。

中心节点最终协作检测漏检概率  $Q'_m$ 、检测概率  $Q'_d$  以及虚警概率  $Q'_f$  分别表示如下<sup>[13]</sup>:

$$Q'_m = \sum_{K=0}^{N-1} C_N^K \cdot \prod_{l=k+1}^N \Delta_{1,l} \cdot [1 - Q_{(N-K)u'}(\sqrt{2 \cdot \sum_{j=1}^{N-K} w_j \cdot \gamma_j}, \sqrt{V_{th}})] + \prod_{n=1}^N P'_{m,n} \quad (12)$$

$$Q'_d = P_r\{\text{RES} = 1 | H_1\} = 1 - P_r\{\text{RES} = 0 | H_1\} = 1 - Q'_m \quad (13)$$

$$Q'_f = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - \Delta_{0,i} - P'_{f,i}) - \sum_{K=0}^{N-1} C_N^K \cdot \prod_{i=1}^k (1 - \Delta_{0,i} - P'_{f,i}) \cdot \prod_{n=k+1}^N \Delta_{0,n} \cdot \left\{ 1 - \frac{\Gamma[(N-k) \cdot u', V_{th/2}]}{\Gamma[(N-k) \cdot u']} \right\} \quad (14)$$

与单门限相比, 可以得出  $Q'_m < Q_m$ , 因而有  $Q_d < Q'_d$ , 即双门限协作检测概率要比单门限协作检测概率大。

## 3 仿真与分析

为了说明双门限协作能量检测算法的正确性

和有效性,本文通过 MATLAB R2010a 处理平台分别对比单门限能量检测和双门限协作能量检测算法在不同信道下的性能,以及在瑞利衰落信道下比较在不同信噪比值下,单门限单用户能量检测、单门限协作能量检测与双门限协作能量检测性能,并选取不同不确定度值进行比较。数值仿真结果如图 3 ~ 图 5 所示。

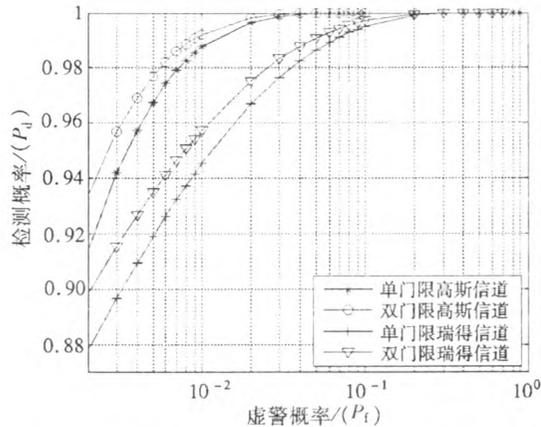


图 3 不同信道下检测概率与虚警率之间的关系

Fig. 3 The relationship of detection probability and false alarm probability under different channels

从图 3 可以看出:无论在 Gaussian 信道下,还是在瑞利信道下,双门限能量协作检测算法的性能都要好于传统单门限能量协作检测算法。同时相对于传统单门限算法,双门限算法有可能在提高检测概率  $P_d$  的同时降低虚警率  $P_f$ 。因而具有更广阔的应用空间。

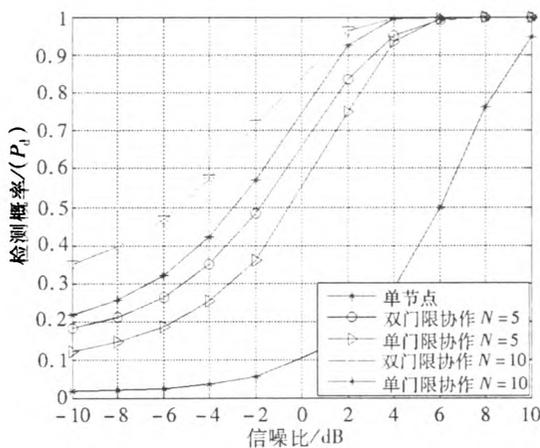


图 4  $\Delta$  取 0.01 时的检测性能曲线

Fig. 4 The performance of detection probability when  $\Delta = 0.01$

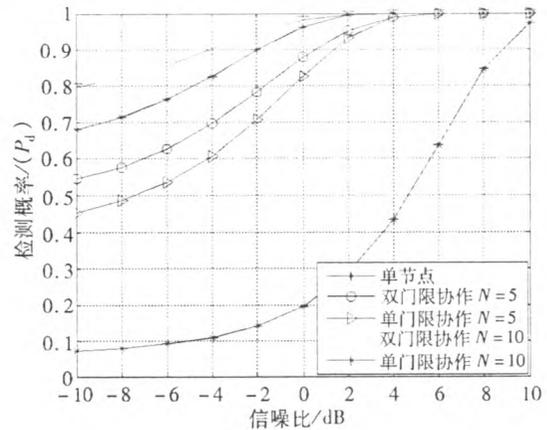


图 5  $\Delta$  取 0.1 时的检测性能曲线

Fig. 5 The performance of detection probability when  $\Delta = 0.1$

从图 4、图 5 可以看出:认知用户数  $N$  越高,检测概率  $P_d$  也越高,在同等条件下,认知用户数  $N=10$  的性能要比  $N=5$  提高约 50%,提升效果显著。同时,由于认知用户间协作检测可以产生协作增益,所以无论是单门限还是双门限协作检测,检测概率都好于单用户独立检测;其次,无论是认知用户数  $N$  为 5 还是 10,双门限协作检测的性能都要好于单门限协作检测。在信噪比较低时,认知用户数  $N=5$  时,双门限性能最高要比单门限高出 22%;在认知用户数  $N=10$  时,双门限性能最高比单门限高出 17%。可以说,在低信噪比条件下,双门限具有不可比拟的优势。当然,当 SNR 较高时,性能差距会逐渐缩小。

值得注意的是:在其他条件相同的情况下,不确定度  $\Delta$  取 0.1 时的性能要比  $\Delta$  取 0.01 时有较大的提升,因此我们可以推断:不确定度  $\Delta$  越高,协作检测的性能就越好。

## 4 结论

由于能量检测算法是根据接收到的信号能量检测判定主用户信号是否出现,所以对干扰比较敏感的单门限能量检测算法,本文使用双门限能量检测算法和多个认知用户间协作检测以改善单用户能量检测算法的不足。理论分析和计算机仿真结果表明:与单门限相比,双门限协作能量检测算法可以降低认知用户对主用户的干扰,保证了主用户对频谱占用的优先权;还可以在进一步提高检测概率  $P_d$  的同时,降低虚警概率  $P_f$ ,因而具有十分诱人的应用前景。

## 参考文献:

- [1] Sun C H, hang W, Letaief B. Cooperative spectrum sensing for cognitive radios under bandwidth constraints[C]. Proceedings of the Wireless Communications and Networking, 2007,1(2):1-5.
- [2] Urkowitz H. Energy detection of unknown deterministic signals[J]. IEEE Proceedings, 1967,4(55):523-531.
- [3] Barkat M. Signal Detection and Estimation[M]2nd edition. Boston, Landon: Artech House Publishers, 2005: 291-337.
- [4] Barrett. Terenee W. History of Ultra Wideband Communications and Radar; Part2, UWB Radar and Sensors[J]. Microwave Journal, 2001, 20(8):28-137.
- [5] Unnikrishnan J, Venugopal V. Cooperative sensing for primary detection in cognitive radio[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2008,1(2):18-27.
- [6] 虞贵财,罗涛,乐光新. 认知无线电系统中协同能量检测算法的性能研究[J]. 电子与信息学报,2009,31(11):2 682-2 686.
- [7] 许建霞,刘会衡,刘克中. 认知无线电中一种双门限能量检测算法[J]. 武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2011,33(4):529-535.
- [8] 廖楚林. 认知无线电系统的频谱分配算法研究[D]. 成都:电子科技大学,2007.
- [9] Zhang W, Ranjan K, Mallik L, et al. Cooperative spectrum sensing optimization in cognitive radio networks[J]. Proceedings of the IEEE International Communications, 2008,3(4):3 411-3 415.
- [10] 陈国东,武穆清. CUWB:超宽带和认知无线电的完美结合[J]. 通信世界,2007,22(9):1 839-1 841.
- [11] 郭彩丽,张天魁,曾志民. 认知无线电技术的国内外发展和研究现状[J]. 现代电信技术,2006,19(11):1 819-1 823.
- [12] 谈凯. 认知无线电的频谱检测技术的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2008.
- [13] 吴进波,罗涛. 认知无线电系统的动态双门限协作能量检测算法[J]. 高技术通讯,2010,20(6):558-564.

## Performance Analysis of Double – Threshold Cooperation Energy Detection

ZOU Li<sup>1</sup>, CHEN Jiajia<sup>2</sup>

(1. School of Electronic Information, Nantong University, Nantong Jiangsu 226019, China;  
2. School of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts and  
Telecommunications, Nanjing Jiangsu 210003, China)

**Abstract:** It has shown that single – threshold energy detection algorithm maybe cause serious detection performance while sudden noise and other interference factors existing. We used a double – threshold energy detection algorithm based on the OR rule to alleviate the interference. This algorithm set two detection thresholds to every user and cooperative detect through all users' detection results based on OR rule. It can increase detection performance. The simulation results indicated that this algorithm could improve the probability of spectrum detection, and simultaneously depress the probability of missing detection. When the number of cognitive users was  $N = 5$ , double – threshold performance was 22% higher than single – threshold while signal to noise ratio (SNR) was lower; when the number of cognitive users was  $N = 10$ , double – threshold performance was 17% higher than single – threshold. In practical situation, environment of low SNR is mostly harsh. So double – threshold algorithm has imponderable advantages and broad applications.

**Keywords:** Cognitive Radio; single – threshold; double – threshold; cooperative energy detection

(责任编辑:张振华)

# 双门限协作能量检测性能分析

作者: [邹丽, 陈佳佳, ZOU Li, CHEN Jiajia](#)  
作者单位: [邹丽, ZOU Li\(南通大学电子信息学院, 江苏南通, 226019\), 陈佳佳, CHEN Jiajia\(南京邮电大学通信与信息工程学院, 江苏南京, 210003\)](#)  
刊名: [盐城工学院学报\(自然科学版\)](#)  
英文刊名: [Journal of Yancheng Institute of Technology\(Natural Science Edition\)](#)  
年, 卷(期): 2014, 27(4)

引用本文格式: [邹丽, 陈佳佳. ZOU Li. CHEN Jiajia 双门限协作能量检测性能分析\[期刊论文\]-盐城工学院学报\(自然科学版\)](#)  
2014(4)