

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.01.005

引用格式:卢光跃,叶迎晖,孙宇,等.克服噪声不确定度的拟合优度检验频谱感知算法[J].电讯技术,2016,56(1):26-31. [LU Guangyue, YE Yinghui, SUN Yu, et al. A novel anti-noise-uncertainty spectrum sensing method using goodness of fit test[J]. Telecommunication Engineering, 2016, 56(1):26-31.]

克服噪声不确定度的拟合优度检验频谱感知算法*

卢光跃**, 叶迎晖, 孙宇, 弥寅

(西安邮电大学 无线网络安全技术国家工程实验室, 西安 70121)

摘要:针对已有的基于拟合优度(GoF)检验的频谱感知算法易受到噪声不确定度影响的问题,利用矩估计法或特征分解估计法对噪声方差进行实时估计,将采样数据处理为标准正态分布的信号,最后通过GoF检验来感知主用户的存在性。在减小GoF算法复杂度的同时,克服了噪声不确定度对算法性能的影响,仿真结果也表明了所提算法的有效性。

关键词:认知无线电;频谱感知;拟合优度检验;噪声方差估计

中图分类号:TN92 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)01-0026-06

A Novel Anti-noise-uncertainty Spectrum Sensing Method Using Goodness of Fit Test

LU Guangyue, YE Yinghui, SUN Yu, MI Yin

(National Engineering Laboratory for Wireless Security, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: For the problem that the performance of the existing spectrum sensing algorithm based on Goodness of Fit (GoF) test is sensitive to the noise uncertainty, the moment estimation method or the eigen decomposition estimation method is employed to estimate the noise variance timely and the sampling data is processed, using the estimated variance, to be normal Gaussian signal. Finally, the GoF test is used to detect the existence of the primer user. The proposed method is free of noise uncertainty with lower complexity. Simulation results show the effectiveness of the proposed method.

Key words: cognitive radio; spectrum sensing; goodness of fit test; estimation of noise variance

1 引言

认知无线电(Cognitive Radio, CR)是一种动态频谱管理技术,旨在解决当前日益严重的频谱资源匮乏、频谱利用率不高的问题,其核心思想是允许次用户(Second User, SU)在主用户(Primary User, PU)不使用授权频段时动态接入该频段,而当PU重新

使用授权频段时能够及时撤出,以免干扰PU通信。可见,CR的前提条件和首要任务是频谱感知。

经典的频谱感知方法主要有能量检测算法(Energy Detection, ED)、循环平稳特征检测算法(Cyclostationary Feature Detection, CFD)、匹配滤波检测算法(Matched-Filtering, MF)、基于特征结构的

* 收稿日期:2015-06-23;修回日期:2015-08-27 Received date:2015-06-23;Revised date:2015-08-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61271276,61301091);陕西省自然科学基金资助项目(2014JM8299)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No. 61271276, 61301091); The Natural Science Foundation of Shaanxi Province (2014JM8299)

** 通信作者:tonylugy@163.com Corresponding author:tonylugy@163.com

感知算法和基于拟合优度检测 (Goodness of Fit, GoF) 的感知算法等。ED 算法^[1-2]实现简单且不需要任何先验信息,但它对噪声不确定度敏感,噪声不确定度往往会造成算法性能的急剧下降。CFD 算法^[3]复杂度高, MF 算法^[4]必须预知 PU 的先验知识(如信号波形、调制方式等),并且对于同步的要求也比较高。基于特征结构的感知算法^[5-6]主要利用接收信号协方差矩阵特征值和特征矢量的性质进行感知,其中基于特征值的感知算法主要有最大最小特征值之比 (Maximum-Minimum Eigenvalue, MME) 算法和最大最小特征值之差 (Difference between the Maximum eigenvalue and the Minimum Eigenvalue, DMM) 等算法^[7-8], 基于特征矢量的频谱感知算法主要有特征模板匹配 (Feature Templated Matching, FTM) 算法和子空间投影 (Subspace Projection, SP) 算法等^[9]。该类算法检测性能优于 ED 算法, 不需要预知 PU 先验知识, 缺点是复杂度较高。GoF 算法^[10-15]将频谱感知转化为一种拟合优度检测问题, 即假设检验统计量服从某一特定分布, 若感知频段不存在 PU 信号, 则采样数据应服从该分布, 否则采样数据将偏离特定的分布。一般地, 假设噪声服从均值为 0、方差为 σ^2 的高斯白噪声, 频谱感知问题便转变为检验采样数据是否服从均值为 0、方差为 σ^2 的正态分布问题。文献[15]中给出常用的 GoF 检测准则包括 Kolmogorov-Smirnov (KS) 准则、Anderson-Darling (AD) 准则和 Cramer-von Mises (CM) 准则等。文献[10]表明 GoF 算法性能优于能量检测算法, 但缺点是需要噪声方差先验知识, 噪声不确定度对其有很大影响, 且只适用于实信号。文献[11]给出了一种适用于复信号的改进算法, 其原理是当 PU 信号不存在时采样数据的能量服从卡方分布, 用卡方分布代替正态分布进行拟合优度检测, 其缺点同样是算法性能受噪声不确定度影响。

本文在感知过程中动态估计噪声方差, 并对接收信号进行相应处理, 从而解决了噪声方差波动对算法性能影响的问题。

2 信号模型与 GoF 算法简介

频谱感知问题通常可以表示为一个二元假设检验问题, 其模型如下:

$$\begin{cases} H_1: \tilde{y}(k) = s(k) + n(k) \\ H_0: \tilde{y}(k) = n(k) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\tilde{y}(k)$ 表示 SU 在 k 时刻的接收信号; $s(k)$ 为 PU 信号分量; $n(k)$ 表示噪声分量, 噪声取均值为 0、方差为 σ^2 的加性高斯白噪声; H_1 表示 PU 存在, SU 不可以接入该频段; H_0 表示 PU 不存在, SU 可使用该空闲频段。

GoF 算法利用 H_0 与 H_1 条件下接收数据概率分布函数之间的差异进行感知。假设采样点数为 N , 将 SU 接收数据 $\tilde{y}(k)$ 按照升序排列, 得到的新序列记为 $y(k)$, 于是, 有 $y(1) \leq y(2) \leq \dots \leq y(N)$, 则其经验谱分布 $F_N(y)$ 表示^[11]为

$$F_N(y) = \frac{i}{N}, i=1, 2, \dots, N. \quad (2)$$

显然, 若 H_0 成立, 采样数据服从均值为 0、方差为 σ^2 的正态分布, 其分布函数 $F_0(y)$ 为

$$F_0(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (3)$$

当 N 趋于无穷大时, $F_N(y)$ 依概率 1 收敛于 $F_0(y)$; 若 H_1 成立, 由于有 PU 信号存在, $F_N(y)$ 将偏离 $F_0(y)$ 。因此, 频谱感知转化为如下的拟合优度检验问题:

$$\begin{cases} H_1: F_N(y) \cong F_0(y) \\ H_0: F_N(y) \not\cong F_0(y) \end{cases} \quad (4)$$

采用 AD 准则进行拟合优度检验, 文献[15]给出 $F_N(y)$ 与 $F_0(y)$ 之间的距离:

$$A_N^2 = N \int_{-\infty}^{+\infty} [F_N(y) - F_0(y)]^2 \frac{dF_0(y)}{F_0(y)(1 - F_0(y))} dy. \quad (5)$$

文献[10]将 A_N^2 简化为

$$A_N^2 = -\frac{\sum_{i=1}^N (2i-1) (\ln Z_i + \ln(1 - Z_{N+1-i}))}{N} - N. \quad (6)$$

式中: $Z_i = F_0(y(i))$ 。取 A_N^2 为检验统计量, 则当 A_N^2 大于等于门限 T 时, 判断 H_1 成立, 反之判断 H_0 成立。因此, 门限 T 可由下式确定:

$$Pr\{A_N^2 > T | H_0\} = P_f. \quad (7)$$

H_0 条件下 A_N^2 的分布与噪声分布无关, 其极限分布^[16]如下:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} Pr\{A_N^2 \leq T | H_0\} = \frac{\sqrt{2\pi}}{T} \sum_{j=0}^{+\infty} a_j (4j+1) \exp\left(-\frac{(4j+1)^2 \pi^2}{8T}\right) \times \int_0^{\infty} \exp\left(\frac{T}{8(\omega^2+1)} - \frac{(4j+1)^2 \pi^2 \omega^2}{8T}\right) d\omega. \quad (8)$$

式中: $a_j = (-1)^j \Gamma(j+0.5) / (\Gamma(0.5)j!)$, Γ 为 Gam-

ma 函数。事实上,当 $N \geq 5$ 时上式即收敛,因此若给定虚警概率 P_f ,即可求得或查表^[15]得到相应的门限 T ,如 $P_f=0.01, T=3.875; P_f=0.1, T=1.933$ 。

3 Modified-GoF 算法

由式(3)和(6)可以看出,当噪声方差 σ^2 未知时,将无法确定 $F_0(y)$ 和 Z_i ;而实际中,即使噪声方差 σ^2 已知,其值也会随环境变化而随时变化,即会存在噪声不确定度问题,此时 $F_0(y)$ 和 Z_i 也将发生变化,也需要实时更新。因此,GoF 算法需要知道 σ^2 ;且当存在噪声不确定度时,算法性能必将受到影响。

如果能够在感知过程中实时估计噪声方差,进而动态更新 $F_0(y(i))$,则可消除噪声方差对算法性能的影响。然而,根据式(6),此方法在每次感知中均需利用式(3)动态计算 $F_0(y(i))$,进而计算 Z_i ;不同的噪声方差需要重复计算式(3),这必将增加算法复杂度。为此,可根据估计出的噪声方差 $\hat{\sigma}^2$,对采样数据作如下处理:

$$\hat{y} = \tilde{y} / \hat{\sigma}, \quad (9)$$

则新数据 \hat{y} 将服从标准正态分布。此时, Z_i 只需查表即可得到,从而可降低计算 Z_i 所需的复杂度。

为了估计 σ^2 ,当 SU 进行频谱感知时 PU 信号保持不变^[10,13],可采用矩估计法估计 σ^2 ;另一方面,当 SU 进行频谱感知时 PU 信号时刻在变,采用特征分解估计法估计 σ^2 。

3.1 矩估计法

由辛钦大数定理可知^[17],当 $N \rightarrow \infty$ 时,样本 m 阶矩依分布收敛于总体 m 阶矩,样本矩的连续函数收敛于相应的总体矩的连续函数,因此,可用样本 m 阶矩作为总体 m 阶矩的估计,用样本方差的无偏估计 $\hat{\sigma}^2$ 代替 σ^2 :

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \tilde{y}^2(i). \quad (10)$$

矩估计法运算简单,复杂度为 $O(N)$ 。

3.2 特征分解估计法

由于接收数据协方差矩阵携带噪声的统计信息,对其作特征值分解最小特征值即对应噪声方差,因此估计接收数据协方差矩阵成为关键。首先将采样数据 $\tilde{y}(k)$ 等分为 k 段 $\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_k$, 其中每一段数据有 N/k 个采样点。构造数据矩阵 \mathbf{Y} :

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \tilde{y}_1 \\ \tilde{y}_2 \\ \vdots \\ \tilde{y}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{y}(1) & \tilde{y}(2) & \cdots & \tilde{y}(N/k) \\ \tilde{y}(N/k+1) & \tilde{y}(N/k+2) & \cdots & \tilde{y}(2N/k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{y}((k-1)N/k+1) & \tilde{y}((k-1)N/k+2) & \cdots & \tilde{y}(N) \end{bmatrix}, \quad (11)$$

则接收数据协方差矩阵 \mathbf{R}_y 可估计为

$$\mathbf{R}_y = E[\tilde{\mathbf{y}}\tilde{\mathbf{y}}^H] = \frac{k}{N} \mathbf{Y}\mathbf{Y}^H = \mathbf{S} + E[\mathbf{nn}^H]. \quad (12)$$

式中: $\mathbf{S} = E[\mathbf{ss}^H]$ 为 PU 信号协方差矩阵。因为 n 是均值为 0、方差为 σ^2 的高斯白噪声,所以有

$$E[\mathbf{nn}^H] = \text{diag}\{\sigma^2, \dots, \sigma^2\} = \sigma^2 \mathbf{I}. \quad (13)$$

式中: \mathbf{I} 为 $k \times k$ 维单位阵。因此, \mathbf{R}_y 的特征值结构如下:

$$\lambda + \underbrace{\sigma^2}_{k \uparrow} > \sigma^2 = \dots = \sigma^2. \quad (14)$$

式中: λ 是矩阵 \mathbf{S} 的最大特征值。由此可知,除 \mathbf{R}_y 的最大特征之外,其余特征值可以看作噪声方差的估计,因此可通过求除最大特征值外的特征值进行平均得到噪声方差 σ^2 的估计值 $\hat{\sigma}^2$ 。特征分解估计法不需任何先验信息且适用范围大,其复杂度为 $O(k^3)$ 。

综上,所提算法的步骤可描述如下:

(1) 给定 P_f , 结合式(7)和式(8)或查表求得对应的判决门限 T ;

(2) 根据矩估计法或特征分解估计法得到噪声方差的估计值 $\hat{\sigma}^2$;

(3) 根据式(9)对接收数据作相应处理,得到新数据 \hat{y} 并将其作升序排列:

$$\hat{y}(1) \leq \hat{y}(2) \leq \dots \leq \hat{y}(N);$$

(4) 根据式(6)得到检验统计量 A_N^2 ;

(5) 若 A_N^2 小于 T 时, H_0 成立;反之, H_1 成立。

4 Modified-GoF 算法仿真分析

为了验证上述分析,本节对传统 GoF 算法与 Modified-GoF 算法进行仿真比较。仿真中,假设信道是理想信道,PU 发送信号 $s=1, P_f=0.01, N=3200$, 根据文献[15]可知, $T=3.875$;当存在噪声不确定度 α 时^[7],真实的噪声方差在区间 $[B^{-1}\sigma^2, B\sigma^2]$ 取值,其中 $B=10^{0.1\alpha}$ 。因为 ED 算法和 GoF 算法需要知道噪声方差,因此假设 $\sigma^2=1$ 。

图 1 和图 2 分别给出信噪比为 -25 dB 时, GoF 和 Modified-GoF 算法在 $\alpha=0$ dB 和 $\alpha=1$ dB 时检验统计量的概率密度函数 (Test Statistic PDF, TS-PDF)。可见,当不存在噪声不确定度 ($\alpha=0$ dB) 时,两种算法在 H_0 情况下和 H_1 情况下其 TS-PDF 有一定的分离度,此时通过设置门限 T 可使算法在满足适当 P_f 的情况下获得较好的检测性能。当 $\alpha=1$ 时, Modified-GoF 算法 TS-PDF 基本保持不变,但 GoF 算法的 TS-PDF 变化较大且与 H_1 时的 TS-PDF 重叠部分增加,此时若仍采用原门限判决,将导致虚警概率变大,检测性能下降。由此可知,GoF 算法受噪声不确定度的影响,而 Modified-GoF 算法将不受其影响。

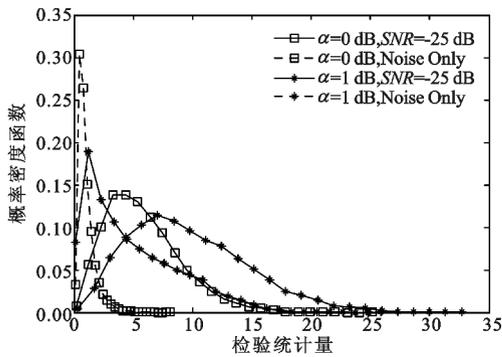


图 1 GoF 算法的 TS-PDF
Fig. 1 Test statistic PDF of GoF

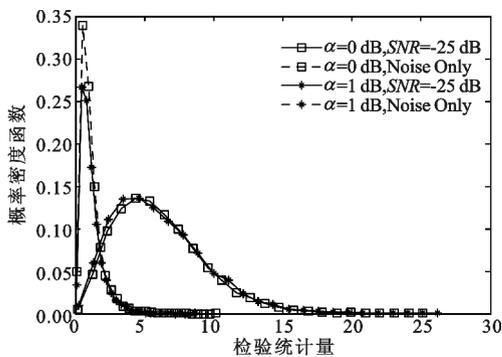


图 2 Modified-GoF 算法的 TS-PDF
Fig. 2 Test statistic PDF of Modified-GoF

图 3 描述了两种算法在 $\alpha=0$ dB 和 $\alpha=1$ dB 两种情况下的检测性能。由图 3 可以看出,在 $\alpha=0$ dB 时两种算法 P_d 与 P_f 曲线基本重合,两者检测性能相当。但当 $\alpha=1$ dB 时 GoF 算法 P_f 跃升为 0.5, 此时算法将失效; 而 Modified-GoF 算法 P_f 仍为 0.01,

性能仍保持稳定。为进一步说明所提算法的优越性,图 4 给出了 $\alpha=0$ 时 DMM 算法^[7]、ED 算法和 Modified-GoF 算法检测性能曲线。由图 4 可知,相同条件下 DMM 算法性能优于 ED 算法 3~4 dB, 而 Modified-GoF 算法性能在低信噪比情况下远优于其他两种算法。

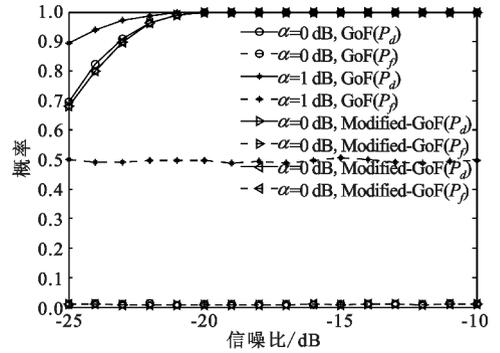


图 3 GoF 算法和 Modified-GoF 算法检测性能比较
Fig. 3 Performance comparison between GoF and Modified-GoF

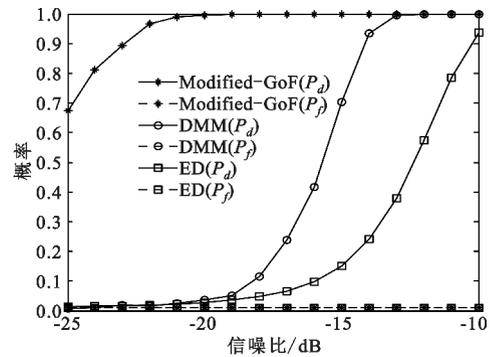


图 4 DMM、ED 和 Modified-GoF 算法检测性能比较
Fig. 4 Performance comparison among DMM, GoF and Modified-GoF

图 5 为 $\alpha=0$ dB 时 Modified-GoF 算法在 N 取不同值时的检测性能曲线。可以看出算法 P_f 始终能够满足给定的要求, 而 P_d 的性能随 N 的增加而增加。如 $N=3\ 200$ 时的性能比 $N=2\ 000$ 时的性能好 2 dB, 比 $N=1\ 000$ 时的性能好 5 dB。图 6 给出了 $N=100$ 和 $N=300$ 的小采样点情况下两种算法的性能比较。可见,在采样点数较小时, Modified-GoF 算法的检测性能略好于 GoF 算法, 尽管其虚警概率满足预设的要求, 但也略高于 GoF 算法, 这主要是因为采样点数小时噪声方差估计精度不高造成的。由图 5 和图 6 可知, Modified-GoF 算法在小采样点数时具有较好的检测性能。

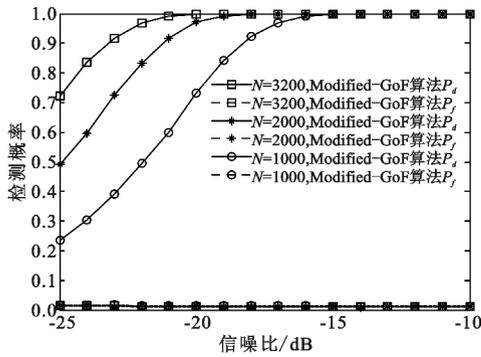


图5 采样点不同时 Modified-GoF 算法检测性能
Fig. 5 The performances of Modified-GoF against different samples

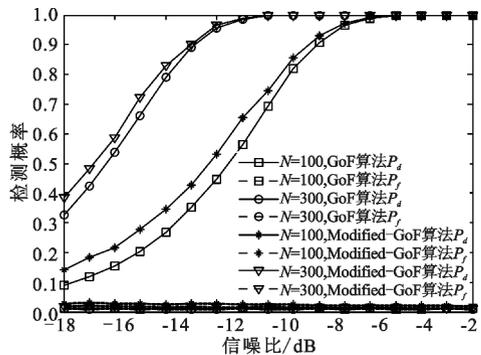


图6 小采样点情况下 Modified-GoF 算法检测性能
Fig. 6 The performances of Modified-GoF at small samples

5 结束语

快速有效的频谱感知算法是认知无线电的研究重点,已有的基于拟合优度频谱感知算法能用较小的样本点数实现较理想的感知效果,但其需要噪声方差这一先验信息以及受噪声不确定度的影响。本文提出一种改进的拟合优度检测算法,该算法无需知道噪声方差,且不受噪声不确定度的影响。同时,相比于已有的 GoF 算法^[10],用查表法替代 $Z_i = F_0(y(i))$ 的计算,从而减少了运算量。仿真结果表明:Modified-GoF 算法不受噪声不确定度的影响,且相同条件下低信噪比时算法性能优于 DMM 算法和 ED 算法,与 GoF 算法性能相当;同时在小采样情况下,所提算法能够以较小的感知时延而保持较理想性能。但是,GoF 类算法在快衰落信道下性能会降低,未来我们将会重点研究快衰落信道下如何提高 GoF 算法的检测性能。

参考文献:

[1] DIGHAM F F, ALOUINI M S, SIMON K. On the energy

detection of unknown signals over fading channels[J]. IEEE Transactions on Communications, 1967, 5(1): 3575-3579.

[2] CABRIC D, TKACHENKO A, BRODERSEN W. Experimental study of spectrum sensing based on energy detection and network cooperation [C]//Proceedings of the ACM 1st International Workshop on Technology and Policy for Accessing Spectrum. New York: IEEE, 2006: 1-5.

[3] CABRIC D, MISHRA S M, BRODERSEN R W. Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios [C]//Proceedings of the 38th Asilomar Conference on Signals Systems & Computers. Pacific Grove, California: IEEE, 2004: 772-776.

[4] DANDAWEH A V. Statistical tests for presence of cyclostationarity[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1994, 42(9): 2355-2369.

[5] 卢光跃, 弥寅, 包志强, 等. 基于特征结构的频谱感知算法[J]. 西安邮电大学学报, 2014, 19(2): 1-12.
LU Guangyue, MI Yin, BAO Zhiqiang, et al. The cooperative spectrum sensing algorithms based on eigenvalue structure of the received signal[J]. Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications, 2014, 19(2): 1-12. (in Chinese)

[6] 弥寅, 卢光跃, 关璐. 特征值类频谱感知算法的仿真分析[J]. 西安邮电大学学报, 2014, 19(5): 27-33.
MI Yin, LU Guangyue, GUAN Lu. Simulation and analysis of eigenvalue-based cooperative spectrum sensing algorithms[J]. Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications, 2014, 19(5): 27-33. (in Chinese)

[7] ZENG Y, LIANG Y C. Maximum-minimum eigenvalue detection for cognitive radio [C]//Proceedings of 2007 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Athens, Greece: IEEE, 2007: 1-5.

[8] 王颖喜, 卢光跃. 基于最大最小特征值之差的频谱感知技术研究[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(11): 2572-2574.
WANG Yingxi, LU Guangyue. DMM based spectrum sensing method for cognitive radio systems[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32(11): 2572-2574. (in Chinese)

[9] 孙宇, 卢光跃, 弥寅. 子空间投影的频谱感知算法研究[J]. 信号处理, 2015, 31(4): 83-89.
SUN Yu, LU Guangyue, MI Yin. The research of spectrum sensing method based on subspace projection[J]. Journal of Signal Processing, 2015, 31(4): 83-89. (in Chinese)

[10] WANG H, YANG E H, ZHAO Z, et al. Spectrum sensing in cognitive radio using goodness of fit testing[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(11): 5427-5430.

[11] JIN M, GUO Q, XI J, et al. Spectrum sensing based on

goodness of fit test with unilateral alternative hypothesis [J]. Electronics Letters, 2014, 50(22): 1645-1646.

[12] ARSHAD K, MOESSNER K. Robust spectrum sensing based on statistical tests [J]. IET Communications, 2013, 7(9): 808-817.

[13] 沈雷,王海泉,赵知劲,等. 认知无线电中基于拟合优度的频谱盲检测算法研究[J]. 通信学报, 2011, 32(11): 27-34.

SHEN Lei, WANG Haiquan, ZHAO Zhijin, et al. Blind spectrum sensing based on goodness of fit test for cognitive radio in noise of uncertain power [J]. Journal on Communications, 2012, 32(11): 27-34. (in Chinese)

[14] LEI S, WANG H, SHEN L. Spectrum sensing based on goodness of fit tests [C]//Proceedings of 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control. Zhejiang: IEEE, 2011: 485-489.

[15] STEPHENS M A. EDF Statistics for goodness of fit and some comparisons [J]. Journal of the American Statistical Association, 1974, 69(347): 730-737.

[16] ANDERSON T W, DARLING D A. Asymptotic theory of certain "goodness of fit" criteria based on stochastic processes [J]. Annals of Mathematical Statistics, 1952, 23(1): 143-143.

[17] 盛骤,谢式千,潘承毅,等. 概率论与数理统计 [M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2008: 141-151.

SHENG Zhou, XIE Shiqian, PAN Chengyi, et al. Probability theory and mathematical statistics [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2008: 141-151. (in Chinese)

作者简介:



卢光跃(1971—),男,河南南阳人,1999 年毕业于西安电子科技大学获博士学位,现为西安邮电大学教授,主要从事通信信号处理、无线传感网络以及认知无线电等方面的研究;

LU Guangyue was born in Nanyang, Henan Province, in 1971. He received the Ph. D. degree from Xidian University in 1999. He is now a professor. His research concerns signal processing, wireless sensor network and cognitive radio.

Email: tonylgy@163.com

叶迎晖(1991—),男,浙江丽水人,西安邮电大学硕士研究生,主要研究方向为认知无线电频谱感知技术;

YE Yinghui was born in Lishui, Zhejiang Province, in 1991. He is now a graduate student. His research concerns spectrum sensing in cognitive radio.

Email: connectyuh@126.com

孙宇(1990—),男,内蒙古乌兰察布人,西安邮电大学硕士研究生,主要研究方向为认知无线电频谱感知技术;

SUN Yu was born Wulanchabu, Neimenggu Autonomous Region, in 1990. He is now a graduate student. His research concerns spectrum sensing in cognitive radio.

Email: yu_sun90@163.com

弥寅(1986—),男,甘肃庆阳人,硕士,西安邮电大学助教,主要研究方向为认知无线电频谱感知技术。

MI Yin was born in Qingyang, Gansu Province, in 1986. He is now a teaching assistant with the M. S. degree. His research concerns spectrum sensing in cognitive radio.

Email: miyin0404@163.com

本刊加入“万方数据-数字化期刊群” 等数据库的声明

为了适应我国信息化建设的需要,扩大作者学术交流渠道,实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,本刊现已加入“万方数据-数字化期刊群”、“中国学术期刊(光盘版)”、“中国期刊全文数据库”、“中文科技期刊数据库”等本刊封底所列数据库以及“中国期刊网”、“中国学术期刊网”、“中国科技论文在线”等网站,本刊录用发表的论文,将由编辑部统一纳入上述数据库和网站,进入因特网或光盘提供信息服务。本刊所付稿酬已包含著作权使用费和刊物内容上网服务报酬,不再另付。凡有不同意见者,请事先声明,本刊将作适当处理。

本刊编辑部