

能量检测法在 ISM 2.4GHz 频段通信系统共存中的应用*

黄婷婷¹, 何明华², 鲁云飞¹, 许海涛¹

(1.福州大学 电气工程与自动化学院, 福建 福州 350108;

2.福州大学 物理与信息工程学院, 福建 福州 350108)

摘要: 针对频谱检测技术, 对比了三种常见的检测方法, 通过建立数学模型和数学分析, 提出了一种改进型能量检测法。该方法采用了一种新的平均判决量, 相对于经典的能量输出判决量, 该平均判决量对 ISM 2.4 GHz 复杂的噪声信号有较强的鲁棒性, 最后用 MATLAB 仿真实验证明了该方法的有效性。

关键词: 认知无线电; ISM; 能量检测法

中图分类号: TP399

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)01-0048-03

Energy detection using in ISM 2.4 GHz coexistence communication system

Huang Tingting¹, He Minghua², Lu Yunfei¹, Xu Haitao¹

(1.College of Electrical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China.

2.College of Physics and Telecommunication Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: The paper compares three normal spectrum detection technology, by establishing and analysing mathematical model. A new method is proposed to improve energy detection. This method adopts a new average decision value, which has stonger robustness in complex noise signals of ISM 2.4 GHz. Finally, the simulations through MATLAB prove the validity of the proposed method.

Key words: cognitive radio; ISM; energy detection

ISM 2.4 GHz 频段是世界各国免授权的公用频段, 各种通信设备都可以在此频段上通信, 如日常工作中的无线局域网, 医疗中的无线个域网与无线躯域网, 工业上的无线传感网络以及方兴未艾的物联网和智能家居等无线网络。然而这么多不同的通信设备工作在同一频段上, 必然会产生相互间的干扰, 对无线通信的安全性、可靠性和实用性带来了极大的挑战。因此, 研究不同通信系统之间的共存性是一个至关重要的问题。认知无线电的工作理念是将不同通信系统间的通信采取频谱感知、动态分配频段等技术, 通过检测与避让的方式形成一个协调、统一、有序和不相互干扰的通信系统。这种工作理念能够处理 ISM 2.4 GHz 频段目前通信杂乱无章的状态, 将认知无线电的技术应用到 ISM 2.4 GHz 频段是未来的发展方向^[1]。

1 认知无线电

认知无线电最重要、最基础的技术是频谱感知技术^[2]。

目前, 学术界常用的技术有匹配滤波器检测法、循环频谱检测法和能量检测法三种。由于匹配滤波器需要严格的先验信息作为匹配滤波器的参数设置, 因此无法适应 ISM 2.4 GHz 频段众多信号类型。循环频谱检测法不易受到不确定噪声功率的影响, 所以在噪声环境中, 相对于其他两种检测方法, 循环频谱检测法有更强的鲁棒性, 但是循环频谱检测法计算复杂, 需要长时间的数据训练, 不符合 ISM 2.4 GHz 快速通信的原则。折中考虑算法的复杂性和抗噪声能力, 本文采用能量检测法进行频谱感知, 并提出了一种改进的能量检测方法, 以满足对于复杂的噪声信号有强鲁棒性的要求。

2 能量检测法

能量检测法是一种比较简单的信号非相干检测方法。在复杂的 ISM 信号环境下, 相对于要求准确先验信息的匹配滤波器检测法和需要足够长时间检测的循环检测法, 能量检测法是最佳的检测方法^[3]。虽然能量检测法简单, 不需要任何的先验信息, 但其仍存在固有的

* 基金项目: 福建省自然科学基金资助(2007J003)

网络与通信

Network and Communication

缺陷:能量门限的设置,门限设置大了,很可能将衰落的、比较微弱的信号忽略,而将幅度较大的脉冲噪声或突发干扰检测为信号;门限设置小了,则无法有效排除干扰信号。本文提出了一种输出平均判决量,该平均判决量对噪声信号的相关性小,体现了其抗噪声的性能,经过 MATLAB 仿真验证显示,该方法对信号噪声具有较好的鲁棒性。

对于 ISM 2.4 GHz 频段而言,如果接收到的该频段的信号经过滤波器滤波后只含有噪声,那么就可以认为这个频段未被占用;反之,则认为信号中包含着有用信号。

在任一时刻 t , 假定进行频谱感知的接收机接收到的信号可能是下面的两种情况^[4-6]:

(1) H_0 : $y(t)$ 只含有噪声信号,即:

$$y(t) = n(t), E[n(t)] = 0$$

(2) H_1 : $y(t)$ 含有噪声信号和有效信号,即:

$$y(t) = n(t) + s(t), E[n(t) + s(t)] = s(t)$$

其中, $n(t)$ 表示理想高斯白噪, H_0 表示信道中只存在噪声信号,不存在有效用户, H_1 表示信道被有效用户使用。图 1 为能量检测原理图。

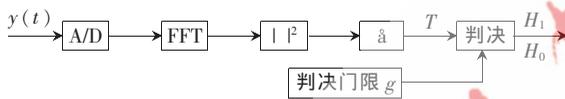


图 1 能量检测原理图

然而,仅依靠某一时间点接收到的信号来判决有效信号是否存在是不准确的,存在很大的偶然性。因此在实际中,频谱检测一般是通过对一定时间内接收到的信号是否呈现出某种检测统计量,并依据该检测统计量做出有效信号是否存在的判决。根据检测量的不同,检测方法分为时域检测和频域检测两种,本文采用频域检测方法。

由图 1 可得出:

$$T = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (Y[n])^2$$

当 $T > g$, 有效信号存在; 当 $T < g$, 只有噪声信号。当有效信号不存在时, 统计量 T 服从中心卡方分布; 而当有效信号存在时, 统计量服从非中心的卡方分布。如果无法顺利进行计算 T , 但是当采样点 $N > 250$ 时, 可以用中心极限定理近似地认为统计量服从标准正态分布^[7], 即:

$$T \sim \text{Normal}(Ns_w^2, 2Ns_w^4) \quad H_0$$

$$T \sim \text{Normal}(N(s_w^2 + s_x^2), 2N(s_w^4 + s_x^2)^2) \quad H_1$$

3 改进的能量检测法

针对 ISM 2.4 GHz 频段的频谱多噪声特性, 为了使盲检测过程对噪声信号具有更强的鲁棒性, 本文提出的改进能量检测法采用了一种新的判决量, 即平均判决量。

假设在一个时隙中收到 T 帧基带信号, 每帧的采样点数为 N , 将 $X_t(n)$ 定义为第 t 帧的信号, 其中, $n=0, 1,$

$\dots N-1, t=0, 1, \dots, T-1$ 。

使用窗函数将信号进行长度截取:

$$x_{w,t}(n) = x_t(n)w(n)$$

将加窗过的信号进行快速傅里叶变换, 并将时域信号转化为频域信号:

$$X_t(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_{w,t}(n) e^{-j2\pi kn/N}$$

由于函数的频谱是对称的, 因此只需要取一半的长度即 $N/2+1$ 算出其功率谱密度 $p_t(k)$, 即:

$$p_t(k) = |X_t(k)|^2$$

其中, $k=0, 1, \dots, N/2, t=0, 1, \dots, T-1$ 。

对 $p_t(k)$ 在 T 帧信号值取平均值:

$$P_{\text{avg}}(k) = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} p_t(k) \quad k=0, 1, \dots, N/2$$

在每个采样点对 $N/2+1$ 长度的信号再一次取平均值, 得到:

$$P_m = \frac{2}{N+2} \sum_{k=0}^{N/2} P_{\text{avg}}(k)$$

为了减少噪声信号对有效信号的影响, 将两个平均值相除, 这样, 第一次平均值中的噪声和第二次平均值中的噪声在一定程度上得到了衰减, 这将大大减小噪声对于有效信号的相关性。输出的统计量 $r(k)$ 作为判决量, 即:

$$r(k) = \frac{P_{\text{avg}}(k)}{P_m}$$

假设 H_0 表示信道中只存在噪声信号, 不存在有效用户; H_1 表示信道被有效用户使用。则有:

$r(k) > g$, 有效信号存在 H_0

$r(k) < g$, 有效信号不存在 H_1

取 $r(k)$ 作为判决的输入量, 根据中心极限定理, 近似认为 $r(k)$ 服从正态分布。改进后的能量检测法原理图如图 2 所示。

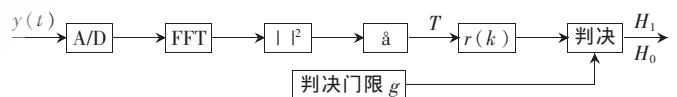


图 2 改进后的能量检测法原理图

在 $N \cdot T$ 个采样点中, 将 T 帧信号值的平均值与 $N/2+1$ 长度的信号的比值作为统计量, 从而避免了由于信号噪声量估计不准确而使门限设置错误, 最终导致整个能量检测过程无法正确进行的情况出现^[8-9]。

根据 Neyman-Pearson 定理, 定义虚警概率 P_{fa} 为当有效信号不存在时检验统计被判定为 H_0 的概率; 检测概率 P_d 为当有效信号确实存在时检验统计被判定为 H_1 的概率。频谱感知的目标就是在使虚警概率 P_{fa} 足够小的条件下, 尽可能地使检测概率 P_d 增大。在实际应用中, 通常先固定某一个虚警概率 P_{fa} , 来比较对应的检测概率 P_d 的大小, 从而判断某种频谱感知方法的性能。

$$P_{fa} = Q\left(\frac{g - N s_w^2}{\sqrt{2N s_w^4}}\right), P_d = Q\left(\frac{g - N(s_w^2 + s_x^2)}{\sqrt{2N(s_w^4 + s_x^2)^2}}\right)$$

4 仿真结果分析

参数取值为: $SNR = -20$ dB, $T = 200$ s, $N = 256$, $p_r = 0.001$ 。图 3(a)所示是能量检测 ROC 图,图 3(b)为改进型能量检测 ROC 图,从图中可以看出,相对于一般的能量检测方案,改进型能量检测方法能够较接近理论值,误差较小,在一定程度上达到优化的目的。图 4 分别表示门限值和 $r(k) > g$ 的信号分布情况。图中可以清晰地表示出大于门限值的信号,而小于门限值的信号则被当成是噪声信号处理,说明不存在噪声干扰,可以实现安全通信。

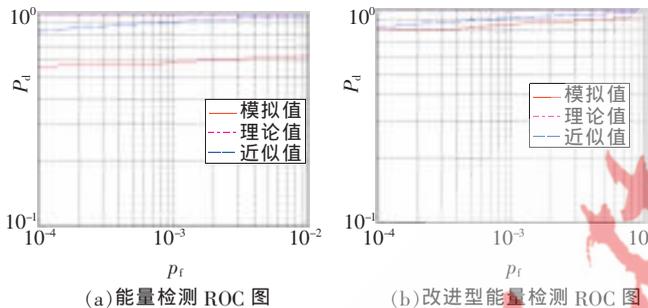


图 3 能量检测 ROC 与改进型能量检测 ROC 对比图

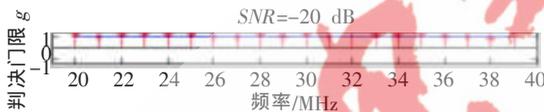


图 4 判决有效信号过程

能量检测方法依据信号有无的假设情况下,根据接收信号功率大小的不同对信号进行检测。由于能量检测对信号类型没有限制,因此不需要信号的任何先验信息,是一种对未知参数的确定性信号的存在性进行检测的有效方法^[10]。

本文根据能量检测法的一般原理提出了一种改进型能量检测方法,该方法通过改变输出判决量达到减少噪声干扰的目的, MATLAB 仿真实验表明,该方法对于 ISM 2.4 GHz 频段复杂的噪声信号具有强的鲁棒性,很大程度上优化了能量检测方法,提高了检测的准确性。

参考文献

- [1] MITOLA J, MAGUIRE G Q. Cognitive radio: making software radios more personal [J]. IEEE Personal Communications, 1999,6(4):13-18.
- [2] CABRIC D, MISHRA S M, WILLKOMM D, et al. A cognitive radio approach for usage of virtual unlicensed spectrum [C]. Proceedings of 14th IST Mobile and Wireless

Communications Summit, 2005.

- [3] Zeng Yonghong, Liang Yingchang, HOANG A T, et al. A review on spectrum sensing for cognitive radio: challenges and solutions [C]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2010:2.
- [4] URKOWITZ H. Energy detection of unknown deterministic signals[J]. Proceeding of the IEEE, 1967,55(4):523-531.
- [5] HAYKIN S, THOMSON D, REED J H. Spectrum sensing for cognitive radio [J]. Proceedings of the IEEE, 2009,97(5):849-877.
- [6] YUCEK T, ARSLAN H. A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2009,11(1):116-130.
- [7] CABRIC D, TKACHENKO A, BRODERSEN R W. Experimental study of spectrum sensing based on energy detection and network cooperation [C]. Proceedings of the First International Workshop on Technology and Policy for Accessing Spectrum, 2006.
- [8] CHEN Z, GUO N, QIU R. Demonstration of real-time spectrum sensing for cognitive radio [J]. IEEE Communications Letters, 2010(14):915-917.
- [9] SUTTON P D, LOTZE J, NOLAN K E, et al. Cyclostationary signature detection in multipath rayleigh fading environments [C]. 2nd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2007:408-413.
- [10] 朱刚.超宽带(UWB)原理与干扰[M].北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2009.

(收稿日期:2011-08-11)

作者简介:

黄婷婷,女,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:通信系统与无线电技术。