

Research on a Blind Sensing Algorithm in Cognitive Radio Based on Over-Sampling and Multiple Autocorrelation

Hong Chen^{1,2}, Shubin Wang^{1*}, Kun Liu¹, Fangfang Meng¹, Shuhua Li¹

¹College of Electronic Information Engineering, Inner Mongolia University, Hohhot Inner Mongolia

²Huhe Report Wu Duan, Hohhot Railway Bureau, Hohhot Inner Mongolia

Email: *wangshubin@imu.edu.cn

Received: Jan. 12th, 2015; accepted: Jan. 23rd, 2015; published: Jan. 28th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

For the traditional energy detection in cognitive radio having a very low detection probability in low SNR, this paper proposes a blind sensing method based on over-sampling and multiple autocorrelation. Firstly, a received signal is over-sampled. Then, the signal is divided into multiple sub-channels. Finally, each sub-channel has an autocorrelation operation. The simulation results show that the detection probability for the proposed method improves more greatly than the traditional energy detection algorithm when the times for the autocorrelation operation increase.

Keywords

Cognitive Radio, Spectrum Sensing, Blind Sensing, Energy Detection, Autocorrelation

基于过采样和多重自相关的认知无线电盲感知算法研究

陈宏^{1,2}, 王树彬^{1*}, 刘琨¹, 孟方方¹, 李树华¹

¹内蒙古大学电子信息工程学院, 内蒙古 呼和浩特

²呼和浩特铁路局呼和电务段, 内蒙古 呼和浩特

*通讯作者。

Email: * wangshubin@imu.edu.cn

收稿日期: 2015年1月12日; 录用日期: 2015年1月23日; 发布日期: 2015年1月28日

摘要

针对认知无线电中频谱感知的能量检测算法在低信噪比时检测概率较低的问题, 提出了一种基于过采样和多重自相关的盲信道感知方法。先对接收信号进行过采样, 再把信号分成多个子信道, 每个子信道进行自相关运算。仿真分析表明, 与传统能量感知技术相比, 当自相关的次数增多时, 检测概率有很大的提高。

关键词

认知无线电, 频谱感知, 盲感知, 能量检测, 自相关

1. 引言

近年来, 随着无线通信业务的迅猛增长, 导致可用的频谱资源日渐紧张, 但是已分配的某些频谱的利用率却很低。Mitola 提出的认知无线电(Cognitive Radio, CR)技术能够很好地解决这一问题[1]。采用认知无线电技术的用户(认知用户)通过频谱感知, 得到在空域、时域中空闲的授权用户频谱资源(被称为“频谱空洞”); 在不影响授权用户(也称主用户)通信的前提下, 认知用户通过动态地调整内部的参数设置, 利用频谱空洞, 以“机会”的方式接入授权的频段内, 实现频谱共享, 提高了频谱利用率[2]。

授权用户对授权频段具有最高的优先权, 一旦授权用户接入, 认知用户必须及时退出信道给授权用户使用, 认知无线电可以显著的提升频谱利用率[3]。

频谱感知是认知无线电首要解决的问题, 快速、准确的发现授权用户信号是必然的要求。目前的感知算法中大多依赖接收信号的先验知识, 感知成功率不高, 且耗时较长。盲感知技术[4]对接收信号的知识要求很少, 且感知成功率高、感知时间较短、且易于操作和实现, 因此在认识无线电技术中有很大的应用前景。能量检测是一种典型的盲感知算法, 但其检测结果容易受到强噪声的干扰, 另外, 在低信噪比的情况下, 感知时间不仅长, 而且感知结果的可靠性很差。例如, 当信噪比低于-20 dB 时, 频谱的检测就变得很困难, 当信噪比为-23 dB 时, 不管感知时间多长, 基本上无法检测出授权用户的信号[5]-[8]。

授权用户信号因其自身具有相关性, 可以充分地利用这个优点将授权用户的信号与噪声区别开来。同时将接收信号由一路用过采样的方法分为多路, 利用“彼此的辩识能力”可以达到快速、准确地发现授权用户信号。因此, 本文提出了一种基于过采样和多重自相关相结合的频谱感知方法。该算法原理简单、复杂度较为简单, 能够快速、准确的检测授权用户的频谱信息, 并且检测概率也明显提升。

2. 过采样的基本原理

过采样是指对信号的采样频率大于奈奎斯特采样频率[9]。假设 $s(k)$ 为数字通信系统发射的有限字符序列, 码元间隔为 T , $h(t)$ 为线性时不变系统的系统函数, 则接收信号为

$$b(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} s(k)h(t-kT) + \omega(t) \quad (1)$$

假设 $s(k)$ 为零均值且同分布的随机序列, 则有 $E[s(k)s^*(l)] = \delta_s^2 \delta(l-k)$; $\omega(t)$ 为加性随机高斯噪

声，零均值且与 $s(k)$ 不相关，则有 $E[\omega(t_1)\omega(t_2)] = \delta_{\omega}^2 \delta(t_1 - t_2)$ 。

若基于过采样接收信号，设过采样因子为 L ，则信道由单信道变成 L 个子信道。将发送信号 $s(k)$ 通过输入 L 个滤波器，则信号 $s(k)$ 通过第 i 个信道 $\{h_i(k)\}$ 产生第 i 个过采样分支的输出。把每个符号间隔为 k 、长度为 L 信道矢量 h_k 定义为 $h_k = [h_0(k), h_1(k), \dots, h_{L-1}(k)]^T$ 。把多径信道进行 L_1 扩展，则整个信道矩阵表示为 $h = [h_0^T, h_1^T, \dots, h_{L_1}^T]^T$ 。第 i 个过采样分支上的接收信号表示为

$$y_i(n) = \sum_{k=0}^{L_1} h_i(k) s(n-k) + \omega_i(n) \quad i = 0, 1, \dots, L-1$$

原理结构图如图 1 所示。

图 1 中 $\omega_i(k)$ 是第 i 个子信道叠加的噪声。过采样接收信号 $y(n)$ 和过采样噪声矢量 $w(n)$ 在时刻 n 上由 L 维矢量分别表示为

$$y(n) = \begin{bmatrix} y_0(n) \\ y_1(n) \\ \vdots \\ y_{L-1}(n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$w(n) = \begin{bmatrix} \omega_0(n) \\ \omega_1(n) \\ \vdots \\ \omega_{L-1}(n) \end{bmatrix} \quad (3)$$

接收信号可以表示为：

$$y(n) = \sum_{k=0}^{L_1} h_k s(n-k) + w(n) \quad (4)$$

3. 过采样结合多重自相关的频谱感知算法

在 Gaussian 白噪声信道下授权用户接收信号模型假定为二元模型[1]：

$$\begin{cases} H_0 : r(t) = n(t) \\ H_1 : r(t) = x(t) + n(t) \end{cases} \quad (5)$$

其中， $n(t)$ 的双边功率谱密度为 N_0 ，带宽为 W ； $x(t)$ 为未知的确定性信号。

对 $r(t)$ 做自相关运算有：

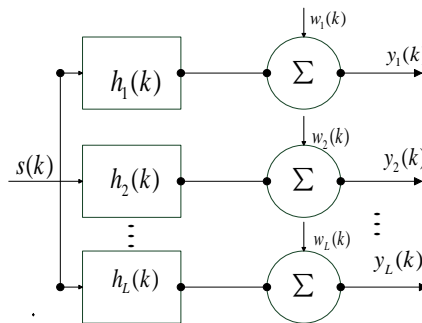


Figure 1. Over-sampling principle

图 1. 过采样原理结构图

$$\begin{aligned}
 R_r(\tau) &= E[r(t)r(t-\tau)] = E\{[x(t)+n(t)][x(t-\tau)+n(t-\tau)]\} \\
 &= E[x(t)x(t-\tau)] + E[n(t)n(t-\tau)] + E[x(t)n(t-\tau)] + E[n(t)x(t-\tau)] \\
 &= R_x(\tau) + R_n(\tau) + R_{xn}(\tau) + R_{nx}(\tau)
 \end{aligned} \quad (6)$$

若 $n(t)$ 与 $x(t)$ 不相关, 则 $R_{xn}(\tau) = R_{nx}(\tau) = 0$, $R_r(\tau) = R_x(\tau) + R_n(\tau)$ 在 高 斯 白 噪 声 的 条 件 下 $R_n(\tau) = 0$, 所 以 $R_r(\tau) = R_x(\tau)$, 即 $R_r(\tau)$ 只 反 映 $R_x(\tau)$ 的 情 况。

通 过 上 面 对 接 收 信 号 模 型 的 分 析 可 以 看 出, 同 一 时 刻 不 同 的 过 采 样 子 信 道 输 出 的 信 号 部 分 具 有 很 强 的 相 关 性, 而 噪 声 部 分 是 不 相 关 的。为 了 很 好 地 体 现 这 一 特 点, 假 设 接 收 信 号 模 型 中 $L=2$, $L_1=0$, 则 可 得 到

$$\begin{bmatrix} y_0(n) \\ y_1(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0(n) \\ h_1(n) \end{bmatrix} s(n) + \begin{bmatrix} \omega_0(n) \\ \omega_1(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_0(n) \\ d_1(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_0(n) \\ \omega_1(n) \end{bmatrix} \quad (7)$$

在 这 两 个 过 采 样 分 支 中 的 信 号 成 分 是 $d_0(n)$ 和 $d_1(n)$, 噪 声 成 分 $\omega_0(n)$ 和 $\omega_1(n)$ 。由 于 $d_0(n)$ 和 $d_1(n)$ 中 共 同 项 $s(n)$ 的 出 现, 使 得 $d_0(n)$ 和 $d_1(n)$ 的 相 关 性 很 大, 于 是 可 得

$$E[d_0(n)d_1^*(n)] = h_0(n)h_1^*(0)\sigma_s^2 \quad (8)$$

其 中, E 是 期 望 运 算 符。相 反, 由 于 噪 声 成 分 $\omega_0(n)$ 和 $\omega_1(n)$ 的 相 关 性 很 小, $E[\omega_0(n)\omega_1^*(n)] \approx 0$ 。这 就 是 信 号 和 噪 声 成 分 区 别 的 特 性, 正 是 基 于 该 特 性 使 得 在 较 低 SNR(信 噪 比)环 境 下 检 测 授 权 用 户 成 为 可 能。

为 方 便 起 见, 下 面 以 过 采 样 因 子 $L=5$ 为 例 来 说 明 该 算 法, 由 y_1 与 y_2 做 自 相 关 运 算, 令 其 相 关 系 数 为 ρ_1 , y_1 与 y_3 做 自 相 关 运 算, 令 其 相 关 系 数 为 ρ_2 , y_1 与 y_4 做 自 相 关 运 算, 令 其 相 关 系 数 为 ρ_3 , y_1 与 y_5 做 自 相 关 运 算, 令 其 相 关 系 数 为 ρ_4 , 如 果 $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ 均 近 似 为 1, 则 可 判 定 $s(k)$ 为 主 用 户 的 信 号。如 果 $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ 当 中, 有 三 个 近 似 为 1, 则 可 以 判 定 $s(k)$ 为 主 用 户 的 信 号。如 果 $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ 当 中 有 两 个 近 似 为 1, 可 判 定 $s(k)$ 为 主 用 户 的 信 号。如 果 $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ 当 中 有 一 个 近 似 为 1, 则 可 判 定 $s(k)$ 不 是 主 用 户 的 信 号, 检 测 失 败。这 是 因 为 信 号 与 信 号 具 有 相 关 性, 信 号 与 噪 声 不 具 有 相 关 性。

利 用 子 信 道 之 间 信 号 具 有 相 关 性 的 特 征 来 检 测 低 信 噪 比 的 信 号, 其 检 测 结 果 有 很 好 的 可 靠 性。

4. 仿 真 分 析

利 用 Matlab 进 行 仿 真 验 证, 假 设 噪 声 是 服 从 均 值 为 0, 方 差 为 σ^2 的 高 斯 白 噪 声, 主 用 户 数 为 1, 过 采 样 因 子 为 5, 判 决 门 限 是 在 虚 警 概 率 为 0.01 的 情 况 下 得 到 的, 仿 真 结 果 如 图 2、图 3 所 示。

由 图 2 可 以 看 出 当 采 样 点 数 为 200 时, 基 于 盲 信 道 感 知 算 法 的 检 测 概 率 随 着 信 噪 比 的 增 加 而 提 高, 并 在 -10 dB 接 近 于 1。在 低 于 -10 dB 时, 由 于 截 取 的 信 号 较 少, 检 测 性 能 较 差。当 在 某 一 个 信 噪 比, 检 测 概 率 为 1 时, 检 测 更 好 信 噪 比 的 授 权 用 户, 检 测 成 功 率 也 为 1, 这 一 点 符 合 检 测 理 论。由 图 2 可 知, 本 文 提 出 的 算 法 比 能 量 检 测 法 的 检 测 效 果 有 明 显 的 提 高。

从 图 3 中 可 以 看 出, 随 着 采 样 点 数 的 增 加, 检 测 概 率 也 有 了 一 定 的 增 加。这 是 因 为 信 号 的 有 效 成 份 增 加 了。利 用 相 关 的 性 质 来 检 测 授 权 用 户 的 信 号, 准 确 度 非 常 高, 其 对 抗 噪 声 的 能 力 非 常 强, 在 信 噪 比 为 -10 dB 的 时 候, 就 能 准 确 地 检 测 出 主 用 户 的 信 号, 而 且, 自 相 关 的 次 数 越 多, 信 噪 比 提 高 地 越 多, 因 此 可 检 测 出 淹 没 于 强 噪 声 的 微 弱 信 号。

5. 结 束 语

准 确 地 感 知 被 噪 声 淹 没 的 授 权 用 户 信 号 是 一 个 极 具 挑 战 性 的 课 题, 如 果 被 噪 声 淹 没 的 授 权 用 户 信 号 只 出 现 一 次, 而 不 是 重 复 出 现, 其 准 确 感 知 的 难 度 会 更 大, 在 这 种 情 况 下, 先 把 接 收 信 号 进 行 过 采 样 处

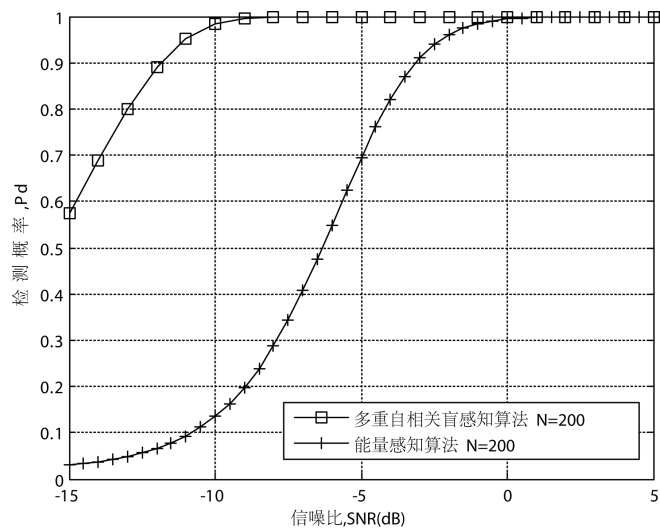


Figure 2. Simulation result when sampling point is 200
图 2. 采样点为 200 时的仿真结果

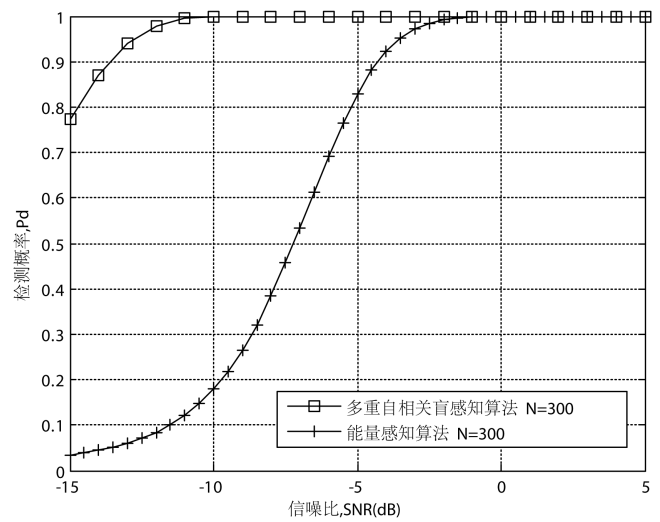


Figure 3. Simulation result when sampling point is 300
图 3. 采样点为 300 时的仿真结果

理，再进行彼此自相关运算的检测方法就显得很管用，特别是能有力的抑制强噪声的干扰。在认知无线电系统中，认知用户在大多数情况下是在感知被噪声淹没的主用户的信号，这个信号信噪比非常低，因此，提高低信噪比的情况下授权用户的检测准确度就是人们追求的目标，而这个目标也是设计认知无线电系统的重要指标之一。另外，在实际的感知过程中，有很多情况是多个授权用户的信号混叠在了一起，本文提出的算法，也能很好的适用于这种情况。因此，本文的方法能够满足认知无线电用户高效、准确的频谱共享要求，能够在比较恶劣的通信环境下，为用户提供高质量的通信业务。

基金项目

国家自然科学基金(61261020)，内蒙古自然科学基金(2012MS0903)，中国石油科技创新基金项目(2014D-5006-0603)，内蒙古大学高层次人才引进科研启动项目。

参考文献 (References)

- [1] Bouabdallah, N., Ishibashi, B. and Boutaba, R. (2011) Performance of cognitive radio-based wireless mesh networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, **10**, 122-123.
- [2] Wang, S.B., Zhou, Z. and Kwak, K. (2012) Two pulse designs for ultra wideband-cognitive radio by using multiple modified transform domain communication system. *Applied Mathematics & Information Sciences*, **6**, 619-628.
- [3] Wang, L.-C., Wang, C.-W. and Chang, C.-J. (2012) Modeling and analysis for spectrum handoffs in cognitive radio networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, **10**, 1499-1500.
- [4] De, P. and Liang, Y.-C. (2008) Blind spectrum sensing algorithms for cognitive radio networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **57**, 2834-2842.
- [5] Fitze, F.H.P. and Katz, M.D., 著, 周正, 等, 译 (2011) 认知无线网络. 北京邮电大学出版社, 北京, 295-296.
- [6] 许瑞琛, 蒋挺 (2013) 基于 PODMP 的认知无线电自适应频谱感知算法. *通信学报*, **6**, 49-56.
- [7] Gao, L., Xu, Y.Y. and Wang, X.B. (2011) MAP: Multiauctioneer progressive auction for dynamic spectrum access. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, **10**, 1144-1161.
- [8] Lai, L.F., El Gamal, H., Jiang, H. and Poor, H.V. (2011) Cognitive medium access: Exploration, exploitation, and competition. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, **10**, 239-253.
- [9] Ungerboeck, G. (1976) Fractional tap-spacing equalizer and consequences for clock recovery in data modems. *IEEE Transactions on Communications*, **24**, 856-864.

汉斯出版社为全球科研工作者搭建开放的网络学术中文交流平台。自2011年创办以来，汉斯一直保持着稳健快速发展。随着国内外知名高校学者的陆续加入，汉斯电子期刊已被450多所大中华地区高校图书馆的电子资源采用，并被中国知网全文收录，被学术界广为认同。

汉斯出版社是国内开源 (Open Access) 电子期刊模式的先行者，其创办的所有期刊全部开放阅读，即读者可以通过互联网免费获取期刊内容，在非商业性使用的前提下，读者不支付任何费用就可引用、复制、传播期刊的部分或全部内容。

