



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102364885 B

(45) 授权公告日 2014. 02. 05

(21) 申请号 201110305767. 1

感知算法. 《通信技术》. 2011,

(22) 申请日 2011. 10. 11

审查员 王成苗

(73) 专利权人 宁波大学

地址 315211 浙江省宁波市江北区风华路  
818 号

(72) 发明人 金明 李有明

(74) 专利代理机构 宁波奥圣专利代理事务所  
(普通合伙) 33226

代理人 程晓明 周珏

(51) Int. Cl.

H04B 17/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101369424 A, 2009. 02. 18,

US 2006/0165184 A1, 2006. 07. 27,

王晓芳 等. 认知无线电中一种改进的频谱

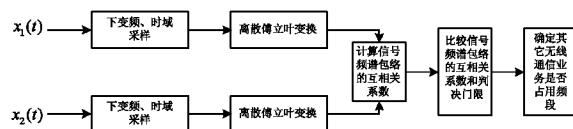
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于信号频谱包络的频谱感知方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于信号频谱包络的频谱感知方法,其利用两根接收天线接收时域连续的射频信号,然后对时域连续的射频信号进行下变频、时域采样处理得到时域离散的基带信号,对时域离散的基带信号进行离散傅立叶变换得到信号频谱,再计算信号频谱包络的互相关系数,最后通过比较信号频谱包络的互相关系数与判决门限的大小,判定是否有其它无线通信业务占用频段,实现频谱感知,本发明方法克服了已有的协方差矩阵检测法和特征值检测法在多根天线接收信号之间的时域相关性较低或不相关时频谱感知失效的缺点。



1. 一种基于信号频谱包络的频谱感知方法,其特征在于包括以下步骤:

①假设认知无线电系统采用两根接收天线接收时域连续的射频信号,将两根接收天线接收到的时域连续的射频信号均表示为时间  $t$  的函数,将第一根接收天线接收到的时域连续的射频信号记为  $x_1(t)$ ,将第二根接收天线接收到的时域连续的射频信号记为  $x_2(t)$ ;

②分别对第一根接收天线接收到的时域连续的射频信号  $x_1(t)$  和第二根接收天线接收到的时域连续的射频信号  $x_2(t)$  进行下变频处理,再分别对  $x_1(t)$  和  $x_2(t)$  经下变频处理后得到的时域连续的射频信号进行  $K$  次时域采样,得到第一根接收天线上的时域离散的基带信号和第二根接收天线上的时域离散的基带信号,将第一根接收天线上的时域离散的基带信号和第二根接收天线上的时域离散的基带信号均表示为时域采样序号  $k$  的函数,分别记为  $y_1(k)$  和  $y_2(k)$ ,其中,  $k = 1, 2, \dots, K$ ,  $K$  表示时域采样的次数;

③分别对第一根接收天线上的时域离散的基带信号  $y_1(k)$  和第二根接收天线上的时域离散的基带信号  $y_2(k)$  进行离散傅立叶变换,得到第一根接收天线上的信号频谱和第二根接收天线上的信号频谱,将第一根接收天线上的信号频谱和第二根接收天线上的信号频谱均表示为频域采样序号  $k'$  的函数,分别记为  $w_1(k')$  和  $w_2(k')$ ,其中,  $k' = 1, 2, \dots, K'$ ,  $K'$  表示频域采样的次数;

④根据第一根接收天线上的信号频谱  $w_1(k')$  和第二根接收天线上的信号频谱  $w_2(k')$ ,计

算信号频谱包络的互相关系数,记为  $r$ , 
$$r = \frac{\frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} |w_1(k')w_2(k')| - \mu_1\mu_2}{\sqrt{\left(\frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} (|w_1(k')| - \mu_1)^2\right) \left(\frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} (|w_2(k')| - \mu_2)^2\right)}}$$
,

其中,  $\mu_1 = \frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} |w_1(k')|$ ,  $\mu_2 = \frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} |w_2(k')|$ , 符号“ $||$ ”为绝对值符号,  $|w_1(k')|$  表示第一

根接收天线上的信号频谱  $w_1(k')$  的信号频谱包络,  $|w_2(k')|$  表示第二根接收天线上的信号频谱  $w_2(k')$  的信号频谱包络;

⑤根据频域采样的次数  $K'$ , 计算判决门限, 记为  $\lambda$ ,  $\lambda = Q^{-1}(1-P_f)$ , 其中,  $P_f$  表示虚警概率,  $Q^{-1}(1-P_f)$  为  $Q(1-P_f)$  的反函数,  $Q(1-P_f) = \sqrt{\frac{K'}{2\pi}} \int_{-\infty}^{(1-P_f)} e^{-\frac{K'u^2}{2}} du$ ,  $u$  为积分变量;

⑥比较信号频谱包络的互相关系数  $r$  和判决门限  $\lambda$  的大小, 如果信号频谱包络的互相关系数  $r$  大于等于判决门限  $\lambda$ , 则判定其它无线通信业务正占用频段; 如果信号频谱包络的互相关系数  $r$  小于判决门限  $\lambda$ , 则判定其它无线通信业务未占用频段。

## 一种基于信号频谱包络的频谱感知方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种认知无线电系统中的频谱感知技术,尤其是涉及一种基于信号频谱包络的频谱感知方法。

### 背景技术

[0002] 随着无线通信业务的快速增长,人们对频谱资源的需求量不断提高。然而,能够用于无线通信业务的可用物理频谱资源是有限的,且现有的固定的频谱资源分配策略使得频谱资源利用率低下,这就造成了频谱资源严重缺乏的局面。认知无线电(Cognitive Radio, CR)技术能够有效提高频谱资源利用率,从而缓解频谱资源缺乏的问题。频谱感知是认知无线电技术中的重要组成部分,其可以有效防止采用认知无线电技术的无线通信业务对在同一频段中的其它无线通信业务产生干扰,频谱感知的性能直接关系到无线通信业务的质量。

[0003] 现有的频谱感知方法主要有能量检测法、循环特征检测法、协方差矩阵检测法、特征值检测法等。其中,能量检测法要求噪声功率精确已知,而在实际中噪声功率无法精确获得,此时能量检测法的性能会急剧下降;循环特征检测法需要信号循环特征频率的先验知识,而在实际中无法预先获得信号循环特征频率;在多天线的情况下,协方差矩阵检测法和特征值检测法能够利用多根天线接收信号之间的时域相关性来实现频谱感知,但是在实际应用中,为了获得分集增益,多根天线接收信号之间的时域相关性较低甚至不相关,此时协方差矩阵检测法和特征值检测法就会失效。

### 发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是提供一种频谱感知性能良好,能够有效克服多天线接收信号之间的时域相关性较低或不相关时频谱感知性能较差的缺点的基于信号频谱包络的频谱感知方法。

[0005] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案为:一种基于信号频谱包络的频谱感知方法,其特征在于包括以下步骤:

[0006] ①假设认知无线电系统采用两根接收天线接收时域连续的射频信号,将两根接收天线接收到的时域连续的射频信号均表示为时间  $t$  的函数,将第一根接收天线接收到的时域连续的射频信号记为  $x_1(t)$ ,将第二根接收天线接收到的时域连续的射频信号记为  $x_2(t)$ ;

[0007] ②分别对第一根接收天线接收到的时域连续的射频信号  $x_1(t)$  和第二根接收天线接收到的时域连续的射频信号  $x_2(t)$  进行下变频处理,再分别对  $x_1(t)$  和  $x_2(t)$  经下变频处理后得到的时域连续的射频信号进行  $K$  次时域采样,得到第一根接收天线上的时域离散的基带信号和第二根接收天线上的时域离散的基带信号,将第一根接收天线上的时域离散的基带信号和第二根接收天线上的时域离散的基带信号均表示为时域采样序号  $k$  的函数,分别记为  $y_1(k)$  和  $y_2(k)$ ,其中,  $k = 1, 2, \dots, K$ ,  $K$  表示时域采样的次数;

[0008] ③分别对第一根接收天线上的时域离散的基带信号  $y_1(k)$  和第二根接收天线上的时域离散的基带信号  $y_2(k)$  进行离散傅立叶变换,得到第一根接收天线上的信号频谱和第二根接收天线上的信号频谱,将第一根接收天线上的信号频谱和第二根接收天线上的信号频谱均表示为频域采样序号  $k'$  的函数,分别记为  $w_1(k')$  和  $w_2(k')$ ,其中,  $k' = 1, 2, \dots, K'$ ,  $K'$  表示频域采样的次数;

[0009] ④根据第一根接收天线上的信号频谱  $y_1(k')$  和第二根接收天线上的信号频谱  $w_2(k')$ ,

$$\text{计算信号频谱包络的互相关系数,记为 } r, r = \frac{\frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} |w_1(k')w_2(k')| - \mu_1\mu_2}{\sqrt{\left(\frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} (|w_1(k')| - \mu_1)^2\right) \left(\frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} (|w_2(k')| - \mu_2)^2\right)}},$$

其中,  $\mu_1 = \frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} |w_1(k')|$ ,  $\mu_2 = \frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} |w_2(k')|$ , 符号“ $||$ ”为绝对值符号,  $|w_1(k')|$  表示第一根

接收天线上的信号频谱  $w_1(k')$  的信号频谱包络,  $|w_2(k')|$  表示第二根接收天线上的信号频谱  $w_2(k')$  的信号频谱包络;

[0010] ⑤根据频域采样的次数  $K'$ , 计算判决门限, 记为  $\lambda$ ,  $\lambda = Q^{-1}(1-P_f)$ , 其中,  $P_f$  表示虚警概率,  $Q^{-1}(1-P_f)$  为  $Q(1-P_f)$  的反函数,  $Q(1-P_f) = \sqrt{\frac{K'}{2\pi}} \int_{-\infty}^{(1-P_f)} e^{-\frac{K'u^2}{2}} du$ ,  $u$  为积分变量;

[0011] ⑥比较信号频谱包络的互相关系数  $r$  和判决门限  $\lambda$  的大小, 如果信号频谱包络的互相关系数  $r$  大于等于判决门限  $\lambda$ , 则判定其它无线通信业务正占用频段; 如果信号频谱包络的互相关系数  $r$  小于判决门限  $\lambda$ , 则判定其它无线通信业务未占用频段。

[0012] 与现有技术相比, 本发明的优点在于利用两根接收天线接收时域连续的射频信号, 然后对时域连续的射频信号进行下变频、时域采样处理得到时域离散的基带信号, 对时域离散的基带信号进行离散傅立叶变换得到信号频谱, 再计算信号频谱包络的互相关系数, 最后通过比较信号频谱包络的互相关系数与判决门限的大小, 判定是否有其它无线通信业务占用频段, 实现频谱感知, 本发明方法克服了已有的协方差矩阵检测法和特征值检测法在多根天线接收信号之间的时域相关性较低或不相关时频谱感知失效的缺点。

## 附图说明

[0013] 图 1 为本发明的频谱感知方法的流程框图;

[0014] 图 2 为不同信噪比下本发明方法与现有的协方差矩阵检测法的频谱感知性能比较示意图。

## 具体实施方式

[0015] 以下结合附图实施例对本发明作进一步详细描述。

[0016] 本发明提出的一种基于信号频谱包络的频谱感知方法, 其流程框图如图 1 所示, 其主要包括以下步骤:

[0017] ①假设认知无线电系统采用两根接收天线接收时域连续的射频信号, 将两根接收天线接收到的时域连续的射频信号均表示为时间  $t$  的函数, 将第一根接收天线接收到

的时域连续的射频信号记为  $x_1(t)$ ，将第二根接收天线接收到的时域连续的射频信号记为  $x_2(t)$ 。

[0018] ②分别对第一根接收天线接收到的时域连续的射频信号  $x_1(t)$  和第二根接收天线接收到的时域连续的射频信号  $x_2(t)$  进行下变频处理，再分别对  $x_1(t)$  和  $x_2(t)$  经下变频处理后得到的时域连续的射频信号进行  $K$  次时域采样，得到第一根接收天线上的时域离散的基带信号和第二根接收天线上的时域离散的基带信号，将第一根接收天线上的时域离散的基带信号和第二根接收天线上的时域离散的基带信号均表示为时域采样序号  $k$  的函数，分别记为  $y_1(k)$  和  $y_2(k)$ ，其中， $k = 1, 2, \dots, K$ ， $K$  表示时域采样的次数。

[0019] ③分别对第一根接收天线上的时域离散的基带信号  $y_1(k)$  和第二根接收天线上的时域离散的基带信号  $y_2(k)$  进行离散傅立叶变换，得到第一根接收天线上的信号频谱和第二根接收天线上的信号频谱，将第一根接收天线上的信号频谱和第二根接收天线上的信号频谱均表示为频域采样序号  $k'$  的函数，分别记为  $w_1(k')$  和  $w_2(k')$ ，其中， $k' = 1, 2, \dots, K'$ ， $K'$  表示频域采样的次数。在此，对时域离散的基带信号进行离散傅立叶变换，实质上是对时域离散的基带信号进行离散频域采样。

[0020] ④根据第一根接收天线上的信号频谱  $w_1(k')$  和第二根接收天线上的信号频谱  $w_2(k')$ ，

$$\text{计算信号频谱包络的互相关系数, 记为 } r, r = \frac{\frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} |w_1(k') w_2(k')| - \mu_1 \mu_2}{\sqrt{\left( \frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} (|w_1(k')| - \mu_1)^2 \right) \left( \frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} (|w_2(k')| - \mu_2)^2 \right)}}$$

其中， $\mu_1 = \frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} |w_1(k')|$ ， $\mu_2 = \frac{1}{K'} \sum_{k'=1}^{K'} |w_2(k')|$ ，符号“ $||$ ”为绝对值符号， $|w_1(k')|$  表示第一根接收天线上的信号频谱  $w_1(k')$  的信号频谱包络， $|w_2(k')|$  表示第二根接收天线上的信号频谱  $w_2(k')$  的信号频谱包络。

[0021] ⑤根据频域采样的次数  $K'$ ，计算判决门限，记为  $\lambda$ ， $\lambda = Q^{-1}(1-P_f)$ ，其中， $P_f$  表示虚警概率， $Q^{-1}(1-P_f)$  为  $Q(1-P_f)$  的反函数， $Q(1-P_f) = \sqrt{\frac{K'}{2\pi}} \int_{-\infty}^{(1-P_f)} e^{-\frac{K'u^2}{2}} du$ ， $u$  为积分变量。

[0022] ⑥比较信号频谱包络的互相关系数  $r$  和判决门限  $\lambda$  的大小，如果信号频谱包络的互相关系数  $r$  大于等于判决门限  $\lambda$ ，则判定其它无线通信业务正占用频段；如果信号频谱包络的互相关系数  $r$  小于判决门限  $\lambda$ ，则判定其它无线通信业务未占用频段。

[0023] 以下通过实测数字电视信号的计算机仿真，进一步说明本发明的频谱感知方法的可行性和有效性。

[0024] 假设时域采样频率为 6MHz，时域采样时间长度为 1.3ms，也就是说时域采样的次数  $K = 7800$ ，设虚警概率  $P_f = 0.1$ 。图 2 给出了实测数字电视信号在不同信噪比情况下利用现有的协方差矩阵检测法和本发明方法的检测概率，此处实测数字电视信号是利用两根天线在不同地方通过采集数字电视信号获得的。分析图 2 可知，由于两根天线距离较远，它们的接收信道是相互独立的，这就造成了两根天线上的接收信号在时域上是互不相关的，因此现有的协方差矩阵检测法失效。如图 2 中所示，不管信噪比是多少，现有的协方差矩阵检测法的检测概率处于 0.1 附近，这是因为仿真中设置的虚警概率为 0.1。由于两根天线上接收到的信号来源于同一个发射源，所以两个天线上的接收信号的频谱包络具有相关性，

因此在信噪比足够高的情况下,本发明方法具有较高的检测性能。在本仿真中,当信噪比大于 -4dB 时,检测概率能够高于 0.95。

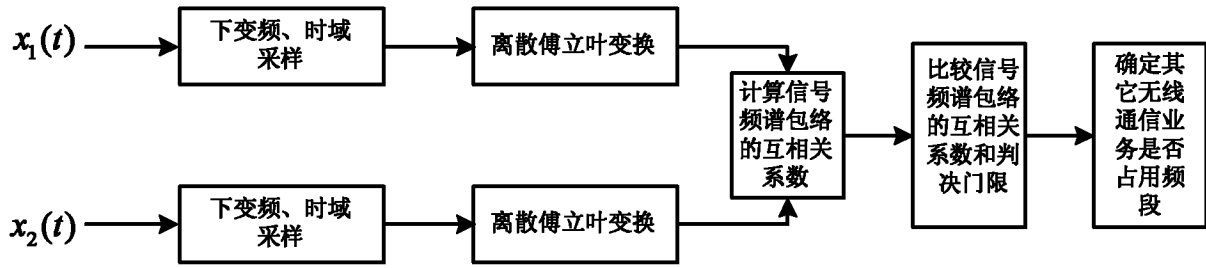


图 1

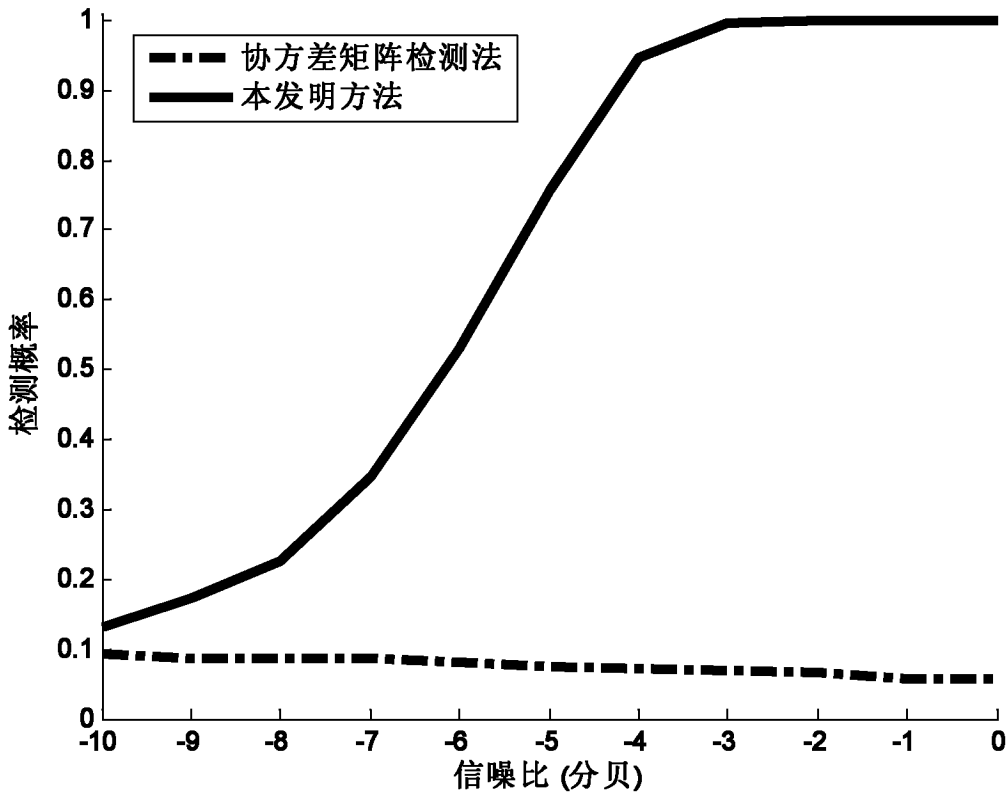


图 2