

一种认知无线电感知时隙与周期联合优化算法

王炯滔, 金 明*, 李有明

(宁波大学 通信技术研究所, 浙江 宁波 315211)

摘要: 鉴于目前已有的感知时隙与周期优化算法通常忽略授权用户的出现概率, 造成感知性能和传输效率下降的问题, 因此提出了一种基于授权用户出现概率的感知时隙与周期联合优化算法. 新算法考虑授权用户的出现概率, 首先以总的系统损失概率为约束条件进行感知时隙优化, 然后以最大化系统频谱效率为目标进行感知周期的优化. 实验证明: 该联合优化算法能保证系统始终用最小的感知时隙和最优的感知周期进行频谱感知, 在满足感知性能的条件下能够使认知用户的感知效率与传输效率达到最大.

关键词: 认知无线电; 感知时隙; 感知周期; 联合优化

中图分类号: TN92

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2013) 04-0029-06

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, 频谱资源缺乏的现象变得越来越严重^[1], 而频谱资源利用率低是造成频谱资源缺乏现象的主要原因之一. 为解决此问题, 频谱管理者开始考虑用动态频谱分配方式来进行频谱管理^[2]. 认知无线电(Cognitive Radio, CR)技术采用动态频谱分配方式, 被认为是提高频谱资源利用率、缓解频谱资源紧张现状的有效技术之一^[3-4].

CR 系统中认知用户首先对信道状态进行实时感知, 当检测到信道空闲时就可以进行数据传输, 以达到提高频谱利用率的目的. 在 IEEE 802.22 标准提出的周期感知框架中, 1 个感知周期由 1 个感知时隙和 1 个数据传输时隙组成^[5], 感知时隙用来检测信道是否被授权用户占用, 而数据传输时隙用来传输数据. 目前 CR 频谱感知时隙优化算法主要是在感知时隙和系统效率间寻找一个最优解, 使得系统在满足感知性能最低要求的前提下, 最大化数据传输速率^[6]. 在每个感知周期中, 一般需要约束认知用户对授权用户的干扰和认知用户的频谱接入机遇损失, 即约束干扰概率上限和机遇损失概率上限, 也就是在以上两条件约束下, 通过

最小化感知时隙长度来进行优化^[7].

传统的时隙分配方式采用的是固定的时隙分配方式, 即各感知周期内感知时隙长度固定, 没有考虑授权用户出现概率的影响^[8]. 文献[8]还提出了基于授权用户出现概率的感知时隙优化算法, 在各授权用户出现概率下, 以满足对授权用户干扰概率和机遇损失概率的上限为约束条件, 来达到最大化认知系统的能量效率与传输效率的目的. 但其中的约束条件上限是固定的, 不会随授权用户的出现概率自适应变化. 文献[9]考虑信道状态在数据传输时隙中最多变化 1 次, 即忙碌到忙碌、忙碌到空闲、空闲到忙碌和空闲到空闲; 在分别考虑以上 4 种情况, 给定认知用户对授权用户的平均干扰上限和认知用户的平均机会损失上限, 在一定虚警概率和检测概率下, 对感知周期进行优化. 但在实际的数据传输过程中, 信道状态变化次数是未知的, 所以单纯的以 4 种情况来描述整个数据传输过程是不合理的.

针对文献[8-9]的问题, 笔者综合考虑授权用户干扰概率和机遇损失概率, 并把它们称作系统损失概率. 在各个时间段授权用户出现概率已知

收稿日期: 2013-03-20.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(61071119); 浙江省自然科学基金(Y1110657, Y1091155); 浙江省科技创新团队资助项目(2010R50009).

第一作者: 王炯滔(1988-), 男, 浙江绍兴人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 认知无线电. E-mail: jiongtaowang@yahoo.com

*通信作者: 金 明(1981-), 男, 浙江舟山人, 讲师, 主要研究方向: 认知无线电及智能天线技术. E-mail: jinming@nbu.edu.cn

(授权用户出现概率可由前期统计数据获得)的情况下,构建了1个不用考虑传输时隙内信道状态变化次数的模型,在不同授权用户出现概率下讨论感知时隙和感知周期的联合优化问题,使得系统在感知过程中始终用最小的感知时隙和最优的感知周期进行频谱感知,以最大化认知系统的感知性能与传输效率。

1 系统模型与先前工作

文中主要考虑单个认知用户发射机和单个认知用户接收机之间的数据发送、接收情况。认知用户在每个感知周期内都要对接入信道进行频谱感知,当检测到频谱空闲时,认知用户迅速接入该频谱进行数据传输;当检测到授权用户需要使用该信道时,认知用户立即中断数据传输避免对授权用户造成干扰。

1.1 能量检测模型

能量检测法是一种简单而有效的频谱感知方法,笔者即以能量检测为感知方法进行研究。设授权用户信号带宽为 W ,接收端能量检测器的信号采样频率 $f_s = 2W$,第 n 点采样所得信号表示如下:

$$x(n) = \begin{cases} w(n), H_0, \\ hs(n) + w(n), H_1, \end{cases} \quad (1)$$

其中, $w(n)$ 表示均值为零方差为 σ^2 的高斯白噪声; $s(n)$ 为授权用户发射的信号; h 为信道增益; H_0 表示信道没有被授权用户占用; H_1 表示信道被授权用户占用。在给定虚警概率 P_f 条件下,根据文献[10]可得检测概率表达式为:

$$P_d(\tau) = Q\left(\frac{1}{\sqrt{2\gamma+1}}(Q^{-1}(P_f) - \sqrt{\tau f_s \gamma})\right), \quad (2)$$

其中, $\gamma = \sum_{n=1}^N |s(n)h|^2 / N\sigma^2$ 为接收信噪比, $N = \tau f_s$ 为采样点数; τ 为感知时隙长度。同理,在给定检测概率 P_d 的条件下,可得虚警概率表达式为:

$$P_f(\tau) = Q(\sqrt{2\gamma+1}Q^{-1}(P_d) + \sqrt{\tau f_s \gamma}). \quad (3)$$

当同时给定 P_f 和 P_d 的情况下,可得感知时隙长度 τ 为:

$$\tau = (Q^{-1}(P_f) - Q^{-1}(P_d)\sqrt{2\gamma+1})^2 / \gamma^2 f_s, \quad (4)$$

其中, $Q(\cdot)$ 为标准正态分布的尾部面积函数, $Q(z) = \frac{1}{2\pi} \int_z^\infty e^{-t^2/2} dt$ 。由(4)式可得,当确定虚警概率 P_f 和检测概率 P_d 后,就能求得所需的感知时隙 τ 长度,

且在文献[10]中已证明了最佳感知时隙的存在。

1.2 基于授权用户出现概率的自适应时隙优化算法

传统固定的时隙分配方式和基于授权用户出现概率的自适应时隙分配方式如图1所示。

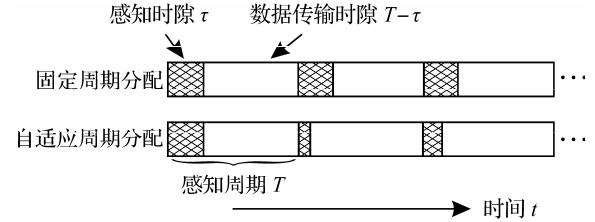


图1 感知时隙分配方式

设1个感知周期长度为 T ,在传统的固定时隙分配方式中,认知用户始终以固定的感知时隙 τ 进行频谱感知,剩余 $T - \tau$ 时间进行数据传输。在自适应时隙分配方式中,考虑授权用户出现概率,在每个感知周期内,认知用户选择满足系统感知性能的最小感知时隙 $\tau_{\min}$,剩余 $T - \tau_{\min}$ 进行数据传输,从而提高系统的频谱使用效率。

令 P_{H_1} 为授权用户出现概率, P_{inter} 为认知用户对授权用户干扰概率, P_{miss} 为认知系统的机遇损失概率,由于传统方法不考虑授权用户存在情况,所以传统方法中 $P_{\text{inter}} = (1 - P_d)$, $P_{\text{miss}} = P_f$ 。而在自适应时隙分配方式中,

$$P_{\text{inter}} = (1 - P_d)P_{H_1}, \quad (5)$$

$$P_{\text{miss}} = P_f(1 - P_{H_1}). \quad (6)$$

由(2)式可得检测概率 P_d 是感知时隙 τ 的递增函数,感知时隙 τ 越大,检测概率 P_d 就越大。由(3)式可得虚警概率 P_f 是感知时隙 τ 的递减函数,感知时隙 τ 越大,虚警概率 P_f 就越小;故由(5)~(6)式可得 P_{inter} 和 P_{miss} 均是感知时隙 τ 的递减函数,当 P_{inter} 和 P_{miss} 取最大值时可以求得最小的感知时隙。

令 $\bar{P}_{\text{inter}}$ 和 $\bar{P}_{\text{miss}}$ 分别为 P_{inter} 和 P_{miss} 上限,则最优感知时隙的选择问题可转化为以下优化问题:

$$\begin{aligned} &\min \tau, \\ &\text{subject to } \begin{cases} P_{\text{inter}} \leq \bar{P}_{\text{inter}}, \\ P_{\text{miss}} \leq \bar{P}_{\text{miss}}. \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

将 $\bar{P}_{\text{inter}}$ 和 $\bar{P}_{\text{miss}}$ 代入(4)式,可得满足系统感知性能要求条件下,基于授权用户出现概率的最小感知时隙表达式如下:

$$\tau = \frac{1}{\gamma^2 f_s} (Q^{-1}(\bar{P}_{\text{miss}} / (1 - P_{H_1})) - Q^{-1}(1 -$$

$$\bar{P}_{\text{inter}} / P_{H_1}) \sqrt{2\gamma + 1})^2. \quad (8)$$

2 提出的感知时隙与周期联合优化算法

下面分两步对感知时隙和感知周期进行联合优化, 先进行感知时隙的优化, 再对感知周期进行优化, 最后得到最佳的感知时隙与感知周期。

2.1 感知时隙优化

在基于授权用户出现概率的感知时隙优化算法中, 虽然系统虚警概率和检测概率能够随授权用户的出现概率自适应变化, 但授权用户干扰概率上限 $\bar{P}_{\text{inter}}$ 和机遇损失概率上限 $\bar{P}_{\text{miss}}$ 是固定的。在实际感知过程中, 当授权用户出现概率低时, 认知用户对授权用户造成干扰的可能性就会降低, 此时我们可适当放宽对授权用户干扰概率上限, 对应适当减小机遇损失概率上限, 以增加频谱接入机会; 当授权用户出现概率高时, 认知用户接入频谱的机会就会降低, 此时我们可适当放宽机遇损失概率上限, 对应适当减小对授权用户的干扰概率上限, 保证授权用户的正常通信。笔者在同时考虑以上两种情况的前提下, 提出系统总的损失概率上限 $\bar{P}_{\text{sum}} = \bar{P}_{\text{inter}} + \bar{P}_{\text{miss}}$ 作为约束条件。那么最优感知时隙的选择可转化为如下优化问题:

$$\begin{aligned} \min \tau, \\ \text{subject to } P_{\text{sum}} \leq \bar{P}_{\text{sum}} = \bar{P}_{\text{inter}} + \bar{P}_{\text{miss}}. \end{aligned} \quad (9)$$

令函数 $y_{(P_{H_1})}$ 为认知系统的机遇损失概率上限随授权用户出现概率变化的比例因子, 因此只要求授权用户出现概率低时, 有较低的机遇损失概率上限, 授权用户出现概率高时, 有较低的对授权用户干扰概率上限, 而对其变化幅度不做具体讨论, 所以比例因子 $y_{(P_{H_1})}$ 简单定义为如下线性函数:

$$y_{(P_{H_1})} = P_{H_1}. \quad (10)$$

构造机遇损失概率上限随授权用户出现概率变化而变化的自适应函数为:

$$\bar{P}_{\text{miss,new}}(P_{H_1}) = y_{(P_{H_1})} (\max(\bar{P}_{\text{inter}}, \bar{P}_{\text{miss}}) - \min(\bar{P}_{\text{inter}}, \bar{P}_{\text{miss}})) + \min(\bar{P}_{\text{inter}}, \bar{P}_{\text{miss}}), \quad (11)$$

同时系统对授权用户的干扰概率上限可表示为:

$$\bar{P}_{\text{inter,new}}(P_{H_1}) = \bar{P}_{\text{sum}} - \bar{P}_{\text{miss,new}}(P_{H_1}), \quad (12)$$

此时系统在各感知周期内的最小感知时隙表示为:

$$\tau = \frac{1}{\gamma^2 f_s} (Q^{-1}(\bar{P}_{\text{miss,new}}(P_{H_1}) / (1 - P_{H_1})) - Q^{-1}(1 - \bar{P}_{\text{inter,new}}(P_{H_1}) / P_{H_1}) \sqrt{2\gamma + 1})^2. \quad (13)$$

2.2 感知周期优化

在感知时隙优化的基础上, 我们继续对感知周期进行优化, 使得在各授权用户出现概率下感知周期也能进行自适应变化, 从而达到最优效果。固定周期分配与自适应周期分配如图2所示。

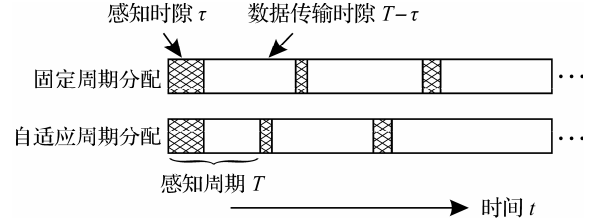


图2 感知周期分配方式

假设信道在某个时间段忙碌状态的平均持续时间为 $T_{\text{busy}} = 1/a$, 空闲状态平均持续时间为 $T_{\text{idle}} = 1/b$, 且在各个对应的时间段 $T_{\text{busy}} \gg T$, $T_{\text{idle}} \gg T$ 。同时假设信道的空闲状态与忙碌状态持续时间服从负指数分布, 那么在该时间段内忙和闲的状态持续时间的概率密度函数为:

$$\begin{cases} f_{\text{busy}} = be^{-bt}, t > 0, \\ f_{\text{idle}} = ae^{-at}, t > 0. \end{cases} \quad (14)$$

在数据传输时隙中, 设信道状态变化次数未知。若 $t=0$ 时刻信道状态为忙碌, 则在 $t \in (0, T-\tau)$ 时间范围内, 信道状态为忙碌的时间长度为:^[11]

$$T_{\text{busy|busy}} = \frac{b}{a+b}(T-\tau) + \frac{a}{(a+b)^2}[1 - e^{-(a+b)(T-\tau)}], \quad (15)$$

也就是说可以利用的空闲时间长度为:

$$\begin{aligned} T_{\text{idle|busy}} &= T - \tau - T_{\text{busy|busy}} = \\ &= \frac{a}{a+b}(T-\tau) - \frac{a}{(a+b)^2}[1 - e^{-(a+b)(T-\tau)}], \end{aligned} \quad (16)$$

那么空闲时间的概率为:

$$\begin{aligned} P_{\text{idle|busy}} &= T_{\text{idle|busy}} / (T-\tau) = \\ &= \frac{a}{a+b} - \frac{a}{(a+b)^2(T-\tau)}[1 - e^{-(a+b)(T-\tau)}], \end{aligned} \quad (17)$$

若 $t=0$ 时刻信道状态为空闲, 那么在 $t \in (0, T-\tau)$ 的时间范围内信道状态为空闲的时间长度为:^[11]

$$T_{\text{idle|idle}} = \frac{a}{a+b}(T-\tau) + \frac{b}{(a+b)^2}[1 - e^{-(a+b)(T-\tau)}], \quad (18)$$

那么空闲时间的概率为:

$$\begin{aligned} P_{\text{idle|idle}} &= T_{\text{idle|idle}} / (T-\tau) = \\ &= \frac{a}{a+b} + \frac{b}{(a+b)^2(T-\tau)}[1 - e^{-(a+b)(T-\tau)}]. \end{aligned} \quad (19)$$

所以, 实际中信道可以进行频谱接入的机会, 即频谱利用率为:

$$P_{\text{use}(P_{H_1})} = \frac{T-\tau}{T} [(1-P_{H_1})(1-P_f)P_{\text{idle}|\text{idle}} + P_{H_1}(1-P_d)P_{\text{idle}|\text{busy}}] \quad (20)$$

同时, 在对授权用户的实际干扰概率为:

$$P_{\text{inter, really}(P_{H_1})} = \frac{T-\tau}{T} [(1-P_{H_1})(1-P_f)(1-P_{\text{idle}|\text{idle}}) + P_{H_1}(1-P_d)(1-P_{\text{idle}|\text{busy}})], \quad (21)$$

其中, P_f 和 P_d 由系统给出, 由于 τ 已在感知时隙优化中求出, 因此授权用户出现概率为:

$$P_{H_1} = \frac{1/a}{1/a + 1/b} = \frac{b}{a+b} \quad (22)$$

那么求各授权用户出现概率下最优感知周期的问题可以如下表示:

$$\begin{aligned} \max P_{\text{use}(P_{H_1})}, \\ \text{subject to } T_{\text{optimal}}. \end{aligned} \quad (23)$$

令 $(1-P_{H_1})(1-P_f) = m$, $P_{H_1}(1-P_d) = n$, 则

$$\begin{aligned} P_{\text{use}(P_{H_1})} &= \frac{T-\tau}{T} (mP_{\text{idle}|\text{idle}} + nP_{\text{idle}|\text{busy}}) = \frac{T-\tau}{T} \cdot \\ &\left\{ m \left[\frac{a}{a+b} + \frac{b}{(a+b)^2(T-\tau)} [1 - e^{-(a+b)(T-\tau)}] \right] + \right. \\ &\left. n \left[\frac{a}{a+b} - \frac{a}{(a+b)^2(T-\tau)} [1 - e^{-(a+b)(T-\tau)}] \right] \right\}. \end{aligned} \quad (24)$$

$P_{\text{use}(P_{H_1})}$ 对 T 求二阶导数可得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 P_{\text{use}(P_{H_1})}}{\partial T^2} &= -\frac{2a\tau(m+n)}{T^3(a+b)} - \frac{2(mb-na)}{T^3(a+b)^2} \cdot \\ &(\mathrm{e}^{-(a+b)(T-\tau)} - 1) - \frac{2(mb-na)(a+b)}{T^2(a+b)^2} \cdot \\ &\mathrm{e}^{-(a+b)(T-\tau)} - \frac{mb-na}{T} \mathrm{e}^{-(a+b)(T-\tau)}, \end{aligned} \quad (25)$$

其中,

$$\begin{aligned} mb-na &= (1-P_{H_1})(1-P_f)b - P_{H_1}(1-P_d)a = \\ &\frac{ab}{a+b}(P_d - P_f) > 0. \end{aligned} \quad (26)$$

又因为 $\mathrm{e}^{-(a+b)(T-\tau)} > 1$, 所以对于任意 $0 < \tau < T$ 都有 $\partial^2 P_{\text{use}(P_{H_1})} / \partial T^2 < 0$, 也就是说对于某个授权用户出现概率 P_{H_1} . 由于 $P_{\text{use}(P_{H_1})}$ 是 1 个上凸函数, 即随着 T 的增大, 频谱使用效率 $P_{\text{use}(P_{H_1})}$ 先增加后减小, 那么必然能找到 1 个最优 T 使得频谱使用效率最高, 而 T_{optimal} 为方程 $\partial P_{\text{use}(P_{H_1})} / \partial T = 0$ 的解.

3 仿真结果

为了不失一般性, 给定信号采样频率 $f_s = 12$ MHz, 信噪比为 $\gamma = -20$ dB, 系统总的损失概率上限为 $\bar{P}_{\text{sum}} = 0.1$.

笔者在此主要比较对授权用户干扰概率上限大于机遇损失概率上限的情况, 即给定系统中对授权用户干扰概率上限和机遇损失概率上限分别为 $\bar{P}_{\text{inter}} = 0.07$, $\bar{P}_{\text{miss}} = 0.03$, 可得各约束条件随授权用户出现概率变化(图3). 图3表明, 当授权用户出现概率小时, 所提新方法对授权用户干扰概率上限比较大, 机遇损失概率上限比较小; 随着授权用户出现概率的增大, 系统对授权用户干扰概率上限对应逐渐变小, 机遇损失概率上限对应逐渐变大, 但系统总的损失概率上限保持不变. 而传统方法和文献[8]中的方法中系统对授权用户干扰概率上限、机遇损失概率上限和系统总的损失概率上限都不随授权用户出现概率的变化而变化.

最优感知时隙长度随授权用户出现概率变化

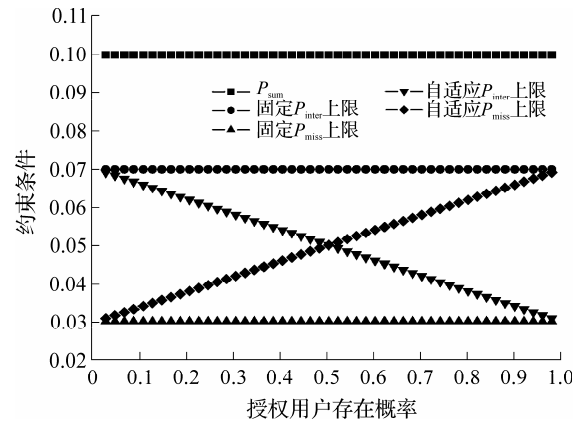


图3 约束条件变化图

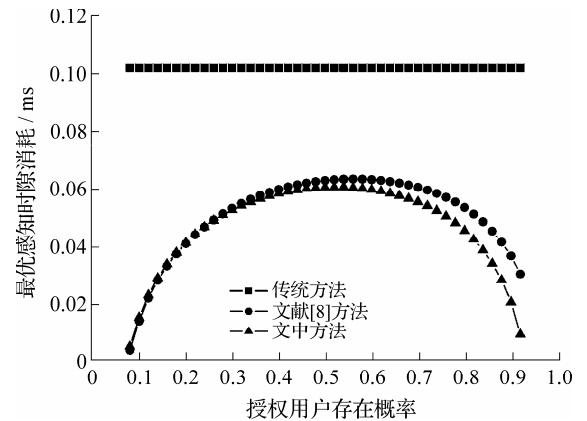


图4 最优感知时隙比较

如图4所示. 图4表明授权用户出现概率较小时, 所提方法与文献[8]的时隙优化方法性能相同, 且均比传统方法要好, 当授权用户出现概率变大时, 所提方法性能比文献[8]的时隙优化方法和传统方法均要好.

在授权用户出现概率分别为 $P_{H_1} = 0.2$ 和 $P_{H_1} = 0.6$, 对应最优感知时隙为 $\tau = 3.92$ ms 和 $\tau = 5.49$ ms 条件下, 系统频谱使用效率 P_{use} 随感知周期 T 的变化如图5和图6所示. 2个图形都表明, 确实存在1个最优感知周期使系统的频谱使用效率最大.

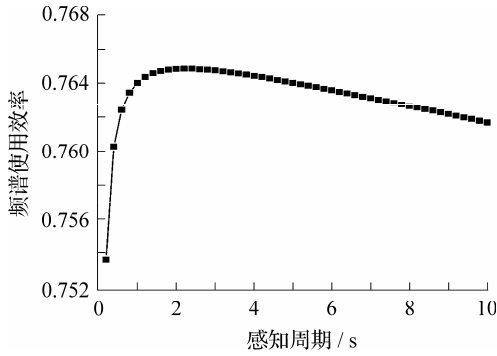


图5 $P_{H_1} = 0.2$, $\tau = 3.92$ ms 条件下的系统频谱使用效率

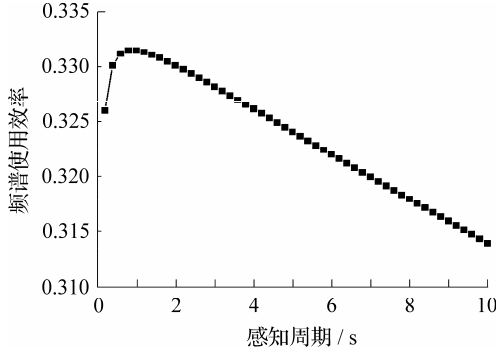


图6 $P_{H_1} = 0.6$, $\tau = 5.49$ ms 条件下的系统频谱使用效率

最优感知周期 T 随授权用户变化的曲线如图7所示. 当授权用户出现概率低时, 最优感知周期比较大, 且随着授权用户出现概率的增大, 最优感知周期相应减小. 可以看出, 若出现以下情况: (1)当授权用户出现概率为零时, 感知周期可以变得无穷大, 即在1次检测信道为空闲后, 一直保持在数据传输时隙, 以增加传输效率; (2)当授权用户出现概率接近1时, 感知周期可以为零, 即认知用户不进行频谱感知, 以节省能量消耗.

在感知时隙优化前提下, 比较固定感知周期在 0.01, 0.1, 1 和 10 这4个数量级下与联合优化后

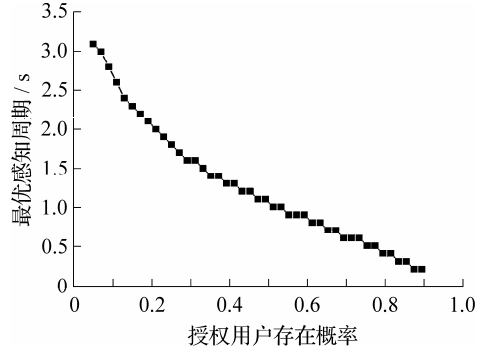


图7 最优感知周期随授权用户出现概率变化

的系统频谱使用效率. 给定固定感知周期为 $T = 0.05, 0.1, 1.5, 10$ s 代入(20)式与联合优化后, 认知系统的频谱使用效率比较如图8所示. 由图8可知, 联合优化后频谱使用效率普遍高于固定感知周期的频谱使用效率.

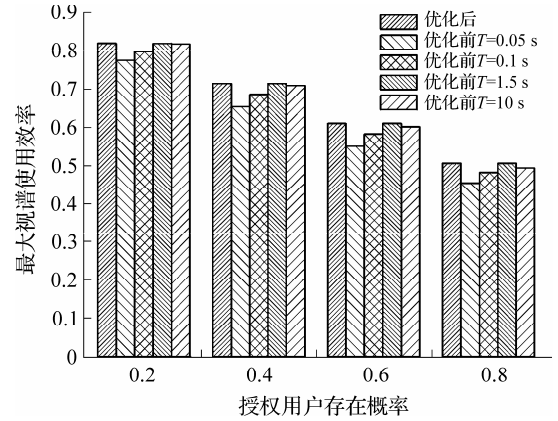


图8 系统最大频谱使用效率比较

进行联合优化后, 实际对授权用户干扰概率与预设干扰概率比较如图9所示. 由图9可知, 联合优化以后, 认知系统对授权用户的干扰概率明显低于预设干扰概率上限, 说明经过联合优化后认知系统依然保持较好的性能.

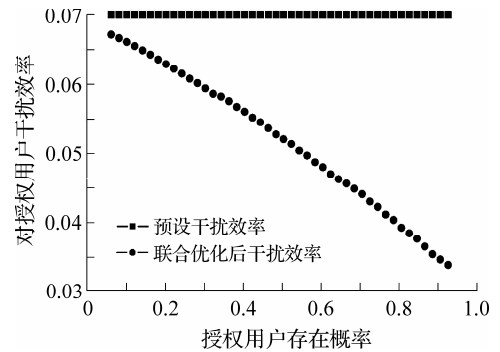


图9 对授权用户干扰概率比较

4 总结

在基于授权用户出现概率的感知时隙优化算法基础上,提出了一种基于授权用户出现概率的感知时隙与感知周期联合优化算法.仿真证明,该算法能降低对授权用户的干扰概率,同时也能提高频谱的使用效率,从而提高系统的感知性能和传输效率.

参考文献:

- [1] Mitola J, Gerald Q, Maguire J R. Cognitive radio: Making software radios more personal[J]. Personal Communications, 1999, 6(4):13-18.
- [2] Federal Communications Commission. Spectrum policy task force report[R]. FCC, 2002:2-155.
- [3] Lin Wei, Zhang Qinyu. A design of energy detector in cognitive radio under noise uncertainty[C]. ICCS 2008 11th IEEE Singapore International Conference, 2008: 213-217.
- [4] Kim S, Lee J, Wang H, et al. Sensing performance of energy detector with correlated multiple antennas[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2009, 16(8):671-674.
- [5] Stevenson C R, Chouinald G, Lei Z, et al. IEEE 802.22: The first cognitive radio wireless regional area network standard[J]. IEEE Communications Magazine, 2009, 47(1):130-138.
- [6] Liaoyuan Z, Sean M G. Joint optimal spectrum sensing time and power allocation in ultra wideband cognitive radio networks[C]. The Second International Conference on Advances in Cognitive Radio, 2012:15-21.
- [7] 张晓, 王金龙, 吴启晖. 认知无线电中基于状态转移概率的感知时隙优化算法[J]. 通信学报, 2011, 32(8):72-80.
- [8] Duan Lili, Zhang Lei. A novel spectrum sensing model based on the traffic pattern of primary user for cognitive radio networks[J]. Journal of Computational Information Systems, 2012, 8(5):2223-2230.
- [9] Gao Xiang, Hyung K P. Optimal sensing period for the cognitive radio networks[C]. Advanced Communication Technology, 2012:1138-1141.
- [10] Liang Y C, Zeng Y H. Sensing-throughput tradeoff for cognitive radio networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(4):1326-1337.
- [11] Hyoil K, Kang GS. Efficient discovery of a spectrum opportunities with MAC-layer sensing in cognitive radio networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7(5):533-545.

A Joint Optimal Algorithm of Spectrum Sensing Time and Sensing Period in Cognitive Radio Systems

WANG Jiong-tao, JIN Ming^{*}, LI You-ming

(Institute of Communication Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The traditional spectrum sensing time and sensing period optimal algorithms ignore the appearance of the primary user, which leads to low sensing performance and spectrum using rate. To tackle this problem, we propose a joint optimal algorithm of spectrum sensing time and sensing period based on the probability of the primary user. It first uses the total system loss probability as constraint condition, then optimizes the sensing time followed by optimizing the sensing period at different appearance probability of the primary user so as to maximize the spectrum use rate. The proposed algorithm gives full play to the system in using the best spectrum sensing time and sensing period during different appearance probabilities of the primary user. As a result, the sensing performance and spectrum using rate efficiently can be improved.

Key words: cognitive radio; sensing time; sensing period; joint optimization

(责任编辑 章践立)