

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.12.006

引用格式:李婷婷,杨守义,宁冰,等.主用户活跃性下的多功率分配策略[J].电讯技术,2015,55(12):1342-1348.[LI Tingting,YANG Shouyi,NING Bing,et al.Multi-power Allocation Strategy in the Condition of Primary User Traffic[J].Telecommunication Engineering,2015,55(12):1342-1348.]

主用户活跃性下的多功率分配策略*

李婷婷**,杨守义,宁冰,王芳

(郑州大学 信息工程学院,郑州 450001)

摘要:考虑到认知用户在信息传输过程中主用户的状态可能随时变化,提出了一种新的功率分配模式——多功率分配策略。在基于频谱感知的系统模型中,以认知系统的吞吐量为目标函数,得出了主用户感知过程的多种状态,并分配三种不同的功率,最大化认知系统的容量。仿真结果表明,随着主用户活跃指数的逐渐提高,所提新模型的功率分配策略要优于传统方法。同时分析了新的功率分配下平均干扰功率与主用户接收端的信噪比对系统吞吐量和最优感知时间的影响,进一步验证了所提出新策略的有效性。

关键词:认知无线电;主用户活跃;频谱感知分配;多功率分配;吞吐量最大化

中图分类号:TN92 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2015)12-1342-07

Multi-power Allocation Strategy in the Condition of Primary User Traffic

LI Tingting,YANG Shouyi,NING Bing,WANG Fang

(School of Information Engineering,Zhengzhou University,Zhengzhou 450001,China)

Abstract:In consideration of the state that the main user of cognitive users may vary at any time in the process of information transmission,a new power allocation model called multi-power allocation strategy is put forward. In the system model based on spectrum sensing,the throughput capacity of cognitive system is regarded as the objective function to get many states of the cognitive process of the main user. In addition, three different powers are distributed and the capacity of cognitive system is maximized. Simulation result indicates that the power allocation strategy of new model is better than that of traditional method following the gradual rise of the traffic index of the main user. At the same time,the influence of average interference power and the signal-to-noise ratio of the receiving terminal of the primary user on the throughput capacity of cognitive system and the optimal cognitive time in the new power distribution is analyzed. In this way,the effectiveness of the new strategy is further verified.

Key words:cognitive radio;primary user traffic;spectrum sensing;multi-power allocation;maximize throughput

1 引言

随着无线通信的迅猛发展以及人们对信息传输速度和质量要求的不断提高,频谱稀缺问题日益凸显出来。而另一方面,美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission,FCC)也已证实,在固定频谱分配策略下,授权频谱利用率低的现象普遍存在,所以在频谱资源有限的情况下,频谱利用率就成为了解决频谱资源匮乏的有效手段。

* 收稿日期:2015-05-18;修回日期:2015-07-21 Received date:2015-05-18;Revised date:2015-07-21
基金项目:国家自然科学基金资助项目(61271421)
Foundation Item:The National Natural Science Foundation of China(No. 61271421)

** 通讯作者:yu2521benben@163.com Corresponding author:yu2521benben@163.com

认知无线电技术是目前提高频谱利用率的有效手段,是通过允许认知用户在不影响授权用户正常工作的前提下接入授权频带来进行通信,大大提高了频谱利用效率和系统容量。现阶段主要是机会频谱接入^[1]和频谱共享^[2]两种频谱接入技术方式,此外还有基于感知的频谱共享^[3],相对于机会接入和频谱共享性能有所提高。

目前,大部分的研究都假设授权用户在一帧中状态一直不变,即存在或空闲的二元感知判决。而实际情况中,授权用户的状态可能在任意时刻发生改变,尤其是在授权用户活跃性高或认知用户一帧时间设置较长的情形下,授权用户的状态改变的概率较大,因此会给授权用户造成严重干扰或是使认知用户的容量遭受损失。大多数文献都是以认知用户吞吐量为目标函数,通过优化功率和其他参数最大化吞吐量。文献[4]中,在感知精确性和吞吐量权衡的过程中作者考虑了非完美感知对认知系统吞吐量的影响,却没有涉及到授权用户活跃性对其影响。文献[5]是基于感知频谱共享接入模型,认知用户在感知到授权用户空闲时发送一个较大的功率,反之则发送一个较小的功率。文献[6]的研究模型为伺机接入,即认知用户只有感知到授权用户处于空闲状态才发送功率,也没有考虑授权用户活跃性对认知系统影响。文献[7]研究了主用户的活跃性对认知网络的影响,主用户可随机接入或离开信道,更加符合实际环境,仿真结果也表明主用户活跃强度的增加伴随着系统吞吐量的下降,但其认知系统容量还有提升空间,文献[8]进一步论证了主用户活跃性对系统吞吐量的影响,但仍没有涉及到如何有效地给认知用户分配功率来提高吞吐量。

鉴于主用户活跃性对认知系统容量的影响,本文提出了一种新的功率分配模式——多功率分配策略,在基于感知的系统模型中,以认知系统的吞吐量为目标函数,得出了主用户感知过程的多种状态,并分配以 3 种不同的功率,通过对平均传输功率和平均干扰功率进行限制来最大化认知系统的容量。仿真结果表明,与文献[7]相比,新模型的功率分配策略使得系统的吞吐量得到明显提升,并且随着活跃指数的提高,吞吐量逐渐增加,有效地抑制了主用户活跃性对认知系统和感知质量的影响。同时分析了新的功率分配下平均干扰功率与主用户接收端的信噪比对系统吞吐量和最优感知时间的影响,进一步验证了所提新策略的有效性。

2 系统模型

整个系统包括授权用户发射端 PUTX 和接收端 PURX 以及认知用户发射端 SUTX 和接收端 SURX。 $s_i(\forall i \in \{1, 2, \dots, I\})$ 、 Y 、 H_0 分别是 SUTX 到 SURX、SUTX 到 PURX 和 PUTX 到 SURX 的信道功率增益,系统模型如图 1 所示。这里假设信道是平坦的快衰落信道,信道功率增益是遍历固定且被认知用户知道。授权用户的信号为复 PSK 信号,认知用户所受噪声干扰假设为独立同分布的复高斯白随机噪声 (Circular Symmetric Complex Gaussian, CSCG),均值为 0,方差为 N_0 。为接入授权频段,次用户在每一帧开始时对主用户的信道状态进行周期性感知。

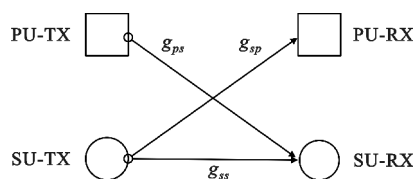


图 1 系统模型
Fig. 1 System model

2.1 传统模型

在传统模型中^[8],一帧持续时间内授权用户的状态仅有空闲和忙碌两种情况,其感知状态结果如下所示:

$$Y = \begin{cases} \sum_{i=1}^I n_i^2, & H_0 \\ \sum_{i=1}^I (s_i + n_i)^2, & H_1 \end{cases}$$

式中, $n_i(\forall i \in \{1, 2, \dots, I\})$ 为抽样过程中的加性高斯白噪声; $s_i(\forall i \in \{1, 2, \dots, I\})$ 为抽样过程中授权用户的信号, Y 为能量检测检测出的输出信号; $I = \tau f_s$ 为频谱感知时间内 τ 的采样次数, f_s 为采样频率。当抽样次数足够大时,利用中心极限定理,输出信号 Y 的概率密度函数可以看作是服从高斯分布,则虚警概率和检测概率表示如下:

$$P_{fa}(\eta, I) = P\left(\frac{H_1}{H_0}\right) = \Pr\{Y > \frac{\eta}{H_0}\} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\eta - I}{2\sqrt{2}\sqrt{\frac{I}{2}}}\right),$$

$$P_{de}(\eta, I) = P\left(\frac{H_1}{H_1}\right) = \Pr\{Y > \frac{\eta}{H_1}\} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\eta - I - I\gamma_p}{2\sqrt{2}\sqrt{\frac{I}{2} + I\gamma_p}}\right).$$

式中, η 为检测门限值, γ_p 为认知用户接收端授权用户的信噪比 (SNR), $\operatorname{erfc}(\cdot)$ 为互补误差函数。感知结果确定后,认知用户开始进行功率传输,当认知用户感知到授权用户不存在时发送一个较大的功率 P_0 ,当认知用户感知到授权用户忙碌时发送一个较

小的功率 P_1 。

2.2 新模型

为了更符合现实情况,考虑了授权用户的状态在一帧持续时间内发生变化。在新模型中,假设授权用户的到达离开服从 1-0 过程随机分布,1 表示信道被占用,0 表示信道空闲。每个状态的持续时间服从指数分布,1 状态时服从参数为 λ 的指数分布,0 状态时服从参数为 μ 的指数分布^[9]。概率密度函数如下所示:

$$\begin{aligned} f_1(x) &= \lambda e^{-\lambda x}, \\ f_2(x) &= \mu e^{-\mu x}. \end{aligned} \tag{1}$$

假设任意时刻信道被占用和空闲的概率是相同的,信道被占用的概率 $p_b = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$,空闲的概率为 $p_e = 1 - p_b$ 。经过一个抽样间隔 T_s 后,该过程的状态转移矩阵为

$$\begin{aligned} p(T_s) &= \begin{pmatrix} p_{00}(T_s) & p_{01}(T_s) \\ p_{10}(T_s) & p_{11}(T_s) \end{pmatrix} = \\ &= \frac{1}{\lambda + \mu} \begin{pmatrix} \lambda + \mu e^{-(\lambda + \mu)T_s} & \mu - \mu e^{-(\lambda + \mu)T_s} \\ \lambda - \lambda e^{-(\lambda + \mu)T_s} & \mu + \lambda e^{-(\lambda + \mu)T_s} \end{pmatrix}. \end{aligned} \tag{2}$$

为了便于分析,假设授权用户在一帧时间内的状态最多转移一次或是授权用户一帧的持续时间要长于认知用户一帧的持续时间。

基于上述假设,新模型选用文献[7]的频谱感知结果,是一个 4 种状态假设问题,表示为

$$Y = \begin{cases} \sum_{i=1}^I n_i^2, & H_{0,1} \\ \sum_{i=1}^d (s_i + n_i)^2 + \sum_{i=d+1}^I n_i^2, & H_{0,2} \\ \sum_{i=1}^I (s_i + n_i)^2, & H_{1,1} \\ \sum_{i=1}^a n_i^2 + \sum_{i=a+1}^I (s_i + n_i)^2, & H_{1,2} \end{cases} \tag{3}$$

式中,第一个下标索引表示授权用户的真实状态(‘0’表示空闲,‘1’表示忙碌);第二个下标索引表示认知用户在信息传输过程中的状态(‘1’表示认知用户感知授权用户忙碌且其状态在认知用户信息传输过程中不发生改变,‘2’表示授权用户状态在认知用户信息传输过程中发生改变); $H_{0,1}$ 状态表示授权用户在频谱感知阶段始终空闲,等同于传统模型中的 H_0 状态; $H_{0,2}$ 状态表示授权用户在感知时间内前 d 个抽样是存在的,而后离开; $H_{1,1}$ 状态表示授权用户在频谱感知阶段始终存在,等同于传统模型中的 H_1 状态; $H_{1,2}$ 状态表示授权用户在感知时间内前 a 个抽样是空闲的,而后到来。如果 $d=0$, $H_{0,2}$ 就等同于 $H_{0,1}$;同理如果 $a=0$, $H_{1,2}$ 就等同于 $H_{1,1}$,此时,新模型就回归到了传统模型。

由能量检测输出结果可以得出 4 种状态的虚警

条件概率 $P_{faH_{0,x}}$ 和检测条件概率 $P_{dH_{1,x}}$ 。其中 $H_{0,1}$ 与 $H_{1,1}$ 状态和传统模型的 H_0 与 H_1 状态等同,因此它们的虚警条件概率也相同,分别为

$$\begin{aligned} P_{faH_{0,1}}(\eta, I) &= \overline{P}_{fa}(\eta, I) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\eta - I}{2\sqrt{2}\sqrt{\frac{I}{2}}} \right), \tag{4} \\ P_{dH_{1,1}}(\eta, I) &= \overline{P}_d(\eta, I) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\eta - I - I\gamma_p}{2\sqrt{2}\sqrt{\frac{I}{2} + I\gamma_p}} \right). \end{aligned} \tag{5}$$

对 $H_{0,2}$ 状态来说,授权用户在 d 个抽样后由忙碌转为空闲状态,因此它的虚警条件概率和 d 有关:

$$P_{faH_{0,2}}(\eta, I, d) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\eta - I - d\gamma_p}{2\sqrt{2}\sqrt{\frac{I}{2} + d\gamma_p}} \right). \tag{6}$$

同理,对 $H_{1,2}$ 状态来说,授权用户在 a 个抽样后由空闲转为忙碌状态,因此它的检测条件概率和 a 有关,即为

$$P_{dH_{1,2}}(\eta, I, a) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\eta - I - (I - a)\gamma_p}{2\sqrt{2}\sqrt{\frac{I}{2} + (I - a)\gamma_p}} \right). \tag{7}$$

如果式(6)中 $d=0$,式(7)中 $a=0$,此时的新模型即退化为传统模型。

3 基于感知的四状态功率分配

本文考虑授权用户在一帧持续过程中随机到达或离开,可将授权频带的状态分为 4 种情况。其中 $H_{0,2}$ 和 $H_{1,2}$ 由于在感知时间内状态发生变化,故传输过程中状态将不再改变,此时等同为传统模型中的 H_0 和 H_1 状态,并分别分配以功率 p_0 和 p_1 。

由于情况 $H_{0,1}$ 和 $H_{1,1}$ 在感知阶段授权用户的状态没有发生变化,信息传输过程中授权用户的状态会发生改变,这两种状态可以归为一种情况。为了不给授权用户造成严重干扰或是对认知用户的容量造成损失,给情况 1 和 3 分配功率 p_2 ,分配的 3 种功率满足 $p_1 < p_2 < p_0$ 。

因为授权用户状态转移是一个服从 0-1 分布的随机过程,利用随机过程转移矩阵可以得出 4 种情况的概率分别为

$$\begin{cases} P(H_{0,1}, T_s) = p_e P_{00}^I(T_s) + \sum_{a=l+1}^{J-1} p_e P_{00}^a(T_s) p_{01}(T_s) p_{11}^{J-a-1}(T_s) \\ P(H_{0,2}, T_s) = \sum_{d=1}^I p_b P_{11}^d(T_s) p_{10}(T_s) p_{00}^{J-d-1}(T_s) \\ P(H_{1,1}, T_s) = p_b P_{11}^I(T_s) + \sum_{d=l+1}^{J-1} p_b P_{11}^d(T_s) p_{10}(T_s) p_{00}^{J-d-1}(T_s) \\ P(H_{1,2}, T_s) = \sum_{a=1}^I p_e P_{00}^a(T_s) p_{01}(T_s) p_{11}^{J-a-1}(T_s) \end{cases} \tag{8}$$

式中, $J = Tf_s$, 即整个帧长 T 内的采样次数。这里假设授权用户在一帧的过程中只改变一次, 这 4 种状态可能不包括所有的情况, 因此 4 种状态的概率之和相加可能略微小于 1。为了方便分析, 对 4 种概率进行修正, 把小于 1 的部分均分到 $P(H_{0,1}, T_s)$ 和 $P(H_{1,1}, T_s)$ 上。

无条件虚警概率和无条件检测概率可以通过对以上的条件概率求均值得到, 即为

$$P_{\text{faN}}(\eta, I) = \frac{P(H_{0,1}, T_s) P_{\text{faH}_{0,1}}(\eta, I)}{P(H_{0,1}, T_s) + P(H_{0,2}, T_s)} + \sum_{d=1}^I \left(\frac{p_b p_{11}^d(T_s) p_{10}(T_s) p_{00}^{J-d-1}(T_s)}{P(H_{0,1}, T_s) + P(H_{0,2}, T_s)} \cdot P_{\text{faH}_{0,2}}(\eta, I, d) \right). \quad (9)$$

考虑到认知用户的感知为非完美感知, 根据上述情况认知用户的瞬时传输速率可以推导出以下 4 种情况:

$$\begin{cases} r_{00} = \text{lb} \left(1 + \frac{g_{ss} p_0}{N_0} \right) \\ r_{11} = \text{lb} \left(1 + \frac{g_{ss} p_1}{g_{ps} P_u + N_0} \right) \\ r_{02}(a) = \text{lb} \left(1 + \frac{g_{ss} p_2}{N_0 + g_{ps} \frac{J-a}{J-I} P_u} \right), I+1 \leq a \leq J \\ r_{12}(d) = \text{lb} \left(1 + \frac{g_{ss} p_2}{N_0 + g_{ps} \frac{d-I}{J-I} P_u} \right), I+1 \leq d \leq J \end{cases} \quad (10)$$

式中, N_0 为信道噪声方差。

通过感知得出了主用户感知过程的多种状态, 并分配以 3 种不同的功率。当状态为 $H_{0,2}$ 和 $H_{1,2}$ 时, 其瞬时速率表达式和传统模型相同, 分别为 r_{00} 和 r_{11} 。当状态为 $H_{0,1}$ 时, 其瞬时速率表达式为 $r_{02}(a)$ 。这里, $I+1 \leq a \leq J$ 表示当授权用户在认知用户信息传输过程中可能会到达; 当 $a=J$ 时表示授权用户在认知用户整个信息传输过程中始终处于空闲状态, 等同于传统模型里的 H_0 状态。当状态为 $H_{1,1}$ 时, 其瞬时速率表达式为 $r_{12}(d)$ 。这里, $I+1 \leq d \leq J$ 表示当授权用户在认知用户信息传输过程中可能会离开; 当 $d=J$ 时, 代表授权用户在认知用户整个信息传输过程中始终处于忙碌状态, 这就等同于传统模型里的 H_1 状态。

由上便可得出 4 种状态下的吞吐量。

(1) 当 $H_{0,1}$ 状态时, 其吞吐量为

$$C_{H_{0,1}} = \frac{T-\tau}{T} (1 - P_{\text{faN}}(\eta, I)) P(H_{0,1})_1 r_{02}(J) +$$

$$\frac{T-\tau}{T} (1 - P_{\text{faN}}(\eta, I)) \sum_{a=J+1}^J P(H_{0,1})_2 r_{0,2}(a) = \frac{T-\tau}{T} [\alpha_1 r_{02}(J) + \sum_{a=J+1}^J \alpha_2 r_{0,2}(a)]。 \quad (11)$$

式中,

$$\begin{cases} \alpha_1 = (1 - P_{\text{faN}}(\eta, I)) P(H_{0,1})_1 \\ \alpha_2 = (1 - P_{\text{faN}}(\eta, I)) P(H_{0,1})_2 \end{cases}; \quad (12)$$

$$P(H_{0,1})_1 = p_e p_{00}^J(T_s) r_{02}(J)$$

表示的是信息传输过程中主用户不发生变化的概率;

$$P(H_{0,1})_2 = \sum_{a=J+1}^J p_e p_{00}^a(T_s) p_{01}(T_s) p_{11}^{J-1-a}(T_s)$$

表示的是信息传输过程中, 主用户的状态发生变化的概率; α_1 、 α_2 分别表示的是在感知过程中次用户感知到主用户一直处于空闲状态, 且主用户在传输过程中状态不发生变化或发生变化的概率。其中:

$$P(H_{0,1}) = P(H_{0,1})_1 + P(H_{0,1})_2。$$

(2) 当 $H_{0,2}$ 状态时, 其吞吐量为

$$C_{H_{0,2}} = \frac{T-\tau}{T} (1 - P_{\text{faN}}(\eta, I)) P(H_{0,2}) r_{00} = \frac{T-\tau}{T} \alpha_3 r_{00}, \quad (13)$$

$$\alpha_3 = p_{\text{faN}}(\eta, I) P(H_{0,2})。 \quad (14)$$

式中, α_3 表示的是在感知过程中次用户感知到主用户状态由忙碌变为空闲, 且主用户在传输过程中状态一直是空闲状态的概率。

(3) 当 $H_{1,1}$ 状态时, 其吞吐量为

$$C_{H_{1,1}} = \frac{T-\tau}{T} P_{\text{dN}}(\eta, I) P(H_{1,1})_1 r_{12}(J) + \frac{T-\tau}{T} P_{\text{dN}}(\eta, I) \sum_{d=J+1}^J P(H_{1,1}) r_{1,2}(d) = \frac{T-\tau}{T} [\beta_1 r_{12}(J) + \sum_{d=J+1}^J \beta_2 r_{1,2}(d)]。 \quad (15)$$

式中,

$$\begin{cases} \beta_1 = P_{\text{dN}}(\eta, I) P(H_{1,1})_1 \\ \beta_2 = P_{\text{dN}}(\eta, I) P(H_{1,1})_2 \end{cases}; \quad (16)$$

$$P(H_{1,1})_1 = p_b p_{11}^J(T_s) r_{12}(J)$$

表示的是信息传输过程中, 主用户不发生变化的概率;

$$P(H_{1,1}) = \sum_{d=J+1}^{J-1} p_b p_{11}^d(T_s) p_{10}(T_s) P_{00}^{J-1-d}(T_s)$$

表示的是信息传输过程中, 主用户的状态发生变化的概率; β_1 、 β_2 表示的是在感知过程中次用户感知到主用户一直处于忙碌状态, 且主用户在传输过程中状态不发生变化或发生变化的概率。其中:

$$P(H_{1,1}) = P(H_{1,1})_1 + P(H_{1,1})_2。$$

(4) 当 $H_{1,2}$ 状态时, 其吞吐量为

$$C_{H_{1,2}}=\frac{T-\tau}{T}P_{\text{dN}}(\eta,I)P(H_{1,2})r_{11}=\frac{T-\tau}{T}\beta_3r_{11},\tag{17}$$

$$\beta_3=P_{\text{dN}}(\eta,I)P(H_{1,2}).\tag{18}$$

式中, β_3 表示的是在感知过程中次用户感知到主用户状态由空闲变为忙碌, 且主用户在传输过程中状态一直是忙碌状态的概率。

结合式(11)~(18), 可以得到系统的整体平均可达吞吐量为

$$C=C_{H_{0,1}}+C_{H_{0,2}}+C_{H_{1,1}}+C_{H_{1,2}},$$

上式可以改写为

$$\begin{aligned} \underset{\{\tau,P\}}{\text{maximize}} C = & \frac{T-\tau}{T}E_{g_{ss},g_{sp}}\{\alpha_1r_{02}(J)+\alpha_3r_{00}+\beta_1r_{12}(J)+ \\ & \beta_3r_{11}+\sum_{d=J+1}^J\beta_2r_{1,2}(d)+\sum_{a=J+1}^J\alpha_2r_{0,2}(a)\}, \end{aligned}\tag{19}$$

其限制条件满足

$$\begin{cases} \frac{T-\tau}{T}E_{g_{ss},g_{sp}}\{\alpha_3P_0+\beta_3P_1+[\alpha_1+\alpha_2+\beta_1+\beta_2]P_2\}\leq P_{\text{av}} \\ \frac{T-\tau}{T}E_{g_{ss},g_{sp}}\{(\beta_1+\beta_2)g_{sp}P_2+\beta_3g_{sp}P_1\}\leq \Gamma \end{cases}.\tag{20}$$

式(20)分别表示为平均传输功率限制和平均干扰功率限制。

$$\begin{aligned} L(P_0,P_1,P_m,\lambda,\mu) = & \frac{T-\tau}{T}E_{g_{ss},g_{sp}}\{\alpha_1r_{02}(J)+\alpha_3r_{00}+ \\ & \beta_1r_{12}(J)+\beta_3r_{11}+\sum_{d=J+1}^J\beta_2r_{1,2}(d)+ \\ & \sum_{a=J+1}^J\alpha_2r_{0,2}(a)\}- \\ & \lambda[\frac{T-\tau}{T}E_{g_{ss},g_{sp}}\{\alpha_3P_0+\beta_3P_1+ \\ & [\alpha_1+\alpha_2+\beta_1+\beta_2]P_2\}-P_{\text{av}}]- \\ & \mu[\frac{T-\tau}{T}E_{g_{ss},g_{sp}}\{(\beta_1+\beta_2)g_{sp}P_2+ \\ & \beta_3g_{sp}P_1\}-\Gamma]. \end{aligned}\tag{21}$$

通过构造拉格朗日函数, 利用式(21)求解出此用户感知主用户存在和不存在时的最优发送功率 P_0 、 P_1 和 P_2 , 最终可以得出公式如下:

$$\begin{cases} P_0 = \frac{g_{ss}-\lambda N_0 \ln 2}{\lambda g_{ss} \ln 2} \\ P_1 = \frac{1}{\ln 2(\lambda + \mu g_{sp})} - \frac{g_{sp}P_u}{g_{ss}} - \frac{N_0}{g_{ss}} \\ P_2 = \frac{(J-I-1)(\alpha_2+\beta_2) \ln 2}{\lambda(\alpha_1+\alpha_2+\beta_1+\beta_2)+\mu(\beta_1+\beta_2)g_{sp}} \end{cases}.\tag{22}$$

4 仿真与分析

本文将新模型下的多功率分配与传统模型的二功率分配进行了全面的分析与对比, 基本仿真参数

参考文献[7]设置如下, 抽样频率 $T_s=20\text{ }\mu\text{s}$, 帧长 $T=100\text{ ms}$, $p_{\text{de}}=0.9$ 。

图2表示为不同授权用户活跃指数下两种模型的吞吐量对比图, 其中 $\gamma_p=-10\text{ dB}$ 。显然, 在基于感知频谱机会共享机制下, 能够得到一个最优的感知时间来实现系统的最大吞吐量, 即吞吐量是感知时间的凸函数。从图中可以看出, 授权用户的活跃指数较低时, 传统模型中认知系统的吞吐量可能会优于新模型, 但是随着指数的增高, 新模型中认知系统的吞吐量要优于传统模型。这是因为当授权用户活跃性指数降低, 新模型中的 $H_{0,1}$ 和 $H_{1,1}$ 状态很有可能退化为传统模型中的两种状态, 由于 $p_2 < p_0$, 传输功率 p_m 对系统吞吐量所做的贡献就相对小一些。当授权用户活跃性指数高时, 授权用户的状态变化概率增大, 在满足平均干扰功率限制的条件下, 感知授权用户存在时传输功率 $p_2 > p_1$, 这时所提策略对提高系统吞吐量有显著效果。

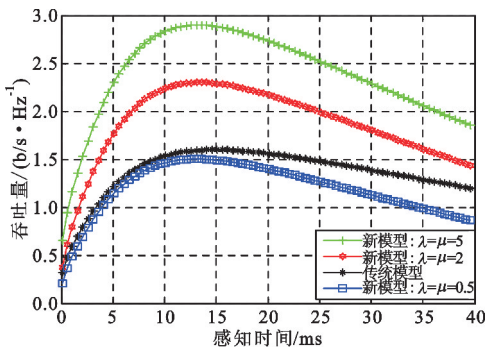


图2 不同授权用户活跃指数下两种模型的吞吐量对比
Fig. 2 Comparison of throughput with primary user traffic index between the two models

图3表示随着活跃指数的增加系统得到的最大吞吐量的变化趋势, 并将抽样间隔 $T_s=20\text{ }\mu\text{s}$ 与抽样间隔 $T_s=100\text{ }\mu\text{s}$ 进行吞吐量方面的对比。仿真结果表明, 授权用户活跃指数在逐渐增高时, 所得到的吞吐量由刚开始的逐渐增大到后来呈现下降趋势。这是因为, 授权用户非常活跃时, 则分配中间功率 p_2 的概率越来越大, 而 p_2 对系统吞吐量所做的贡献就相对较小, 这时就会出现传统模型在提高系统吞吐量方面又优于新模型的情况, 从而表明当主用户过于活跃时, 则不适合采用新的能量分配策略。从图中还可以看出, 通过减小抽样间隔可以得到更多的吞吐量, 这是因为抽样间隔越大, 抽样次数越多, 提高了系统的检测概率 P_{dN} , 降低了虚警概率 P_{faN} , 进而提高了系统的吞吐量。

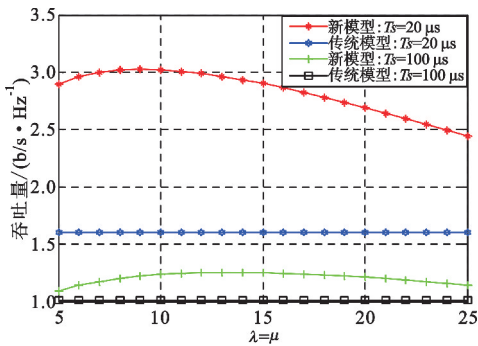


图 3 不同活跃指数下两种模型下的最大吞吐量对比
Fig. 3 Comparison of throughput with different traffic index between the two models

这里指出,当 $\lambda=\mu$ 分别等于0.5、2或5时,主用户状态不变的持续时间平均分别为2 s、0.5 s和0.2 s。

图 4 为在不同授权用户活跃指数下平均干扰功率限制和系统吞吐量的关系。从图中可以看出,当平均干扰功率限制比较严格时,不同授权用户活跃指数下,认知系统的吞吐量基本相等,随着干扰限制变的越来越宽松,系统的吞吐量呈现出增大的趋势,当干扰限制增大到一定值时,平均传输功率限制就成了主导条件,吞吐量的变化逐渐趋于平缓;并且授权用户活跃指数高时,系统的吞吐量呈增加趋势。

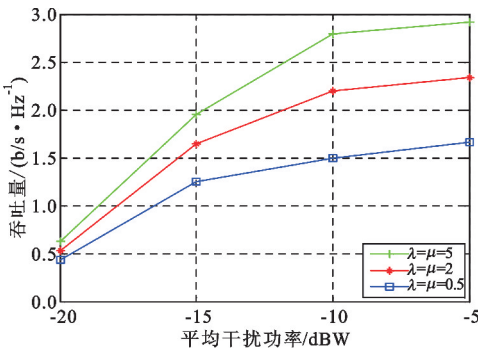


图 4 不同授权用户系统吞吐量与平均干扰功率限制的对比
Fig. 4 Comparison of throughput for the secondary networks with different average interference power limitation

图 5 为当 $\lambda=\mu=2$ 时,不同授权用户信噪比与感知时间和系统吞吐量的关系图。从图中可以看出,当授权用户在认知用户接收端的信噪比减小时,认知系统可得到的最大吞吐量随之变小。首先认知用户接收端授权用户的信噪比减小,会造成感知的精度降低,感知授权用户空闲时发送传输功率对系统的吞吐量的影响占主导地位。同时由于信噪比减小,授权用户信号减弱,相应的所用的感知时间会增加。

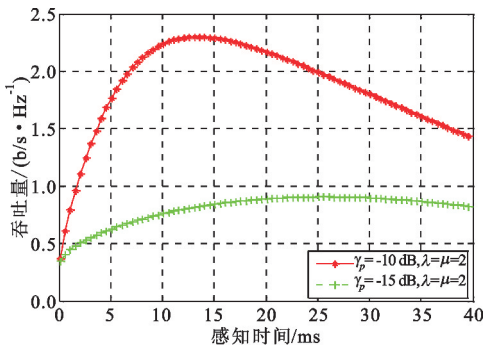


图 5 不同授权用户信噪比下系统吞吐量的对比
Fig. 5 Comparison of throughput for the secondary networks with different detection thresholds

5 结束语

本文在基于感知的频谱共享接入模型中研究了一种多功率分配方法,在更接近实际场景的情况下,考虑到授权用户在认知用户一帧持续过程中的可能会随时到达或离开,得出了主用户感知过程的多种状态,并分配以 3 种不同的功率来最大化认知系统的容量。仿真结果表明,新模型的功率分配策略相对于传统模型使得系统的吞吐量得到明显提升;并且随着活跃指数的提高,吞吐量逐渐增加,有效地抑制了主用户活跃性对认知系统和感知质量的影响。同时仿真验证随着平均干扰功率与主用户接收端的信噪比的增加,系统的吞吐量都相应减小。在今后的工作中,可以考虑主用户在感知时间内允许多次状态的改变,分配以更多种不同的功率来进行进一步的研究。

参考文献:

[1] ZHAO Q,SWAMI A. A decision - theoretic framework for opportunistic spectrum access [J]. IEEE Wireless Communications,2007,14(4):14-20.

[2] MUSAVIAN L,AISSA S. Ergodic and outage capacities of spectrum - sharing systems in fading channels[C]//Proceedings of GLOBECOM' 07. Washington, DC: IEEE, 2007:3327-3331.

[3] KANG X,LIANG Y C,GARG H K, et al. Sensing - based spectrum sharing in cognitive radio networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(8):4649-4654.

[4] HOANG A T,LIANG Y C,ZENG Y, et al. Distributed opportunistic spectrum access with imperfect spectrum sensing[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Communication System. Singapore:IEEE,2010:87-91.

[5] STOTAS S,NALLANATHAN A. Optimal sensing and power allocation strategy for an efficient cognitive radio system[J]. IEEE Communication,2011,58(5):226-231.

[6] STOTAS S, NALLANATHAN A. Optimal sensing time and power allocation in multiband cognitive radio networks [J]. IEEE Transactions on Communications, 2011, 59 (1) :226-235.

[7] TANG L, CHEN Y F, ALOUINI M S. Effect of Primary User Traffic on Sensing-Throughput Tradeoff for Cognitive Radios [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011, 10(4) :1063-1068.

[8] 郭新, 赵海峰, 穆晓敏. 基于主用户活跃性的多带联合频谱感知模型 [J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(7) : 99-103.

GUO Xin, ZHAO Haifeng, MU Xiaomin. Multiband joint detection framework based on activity of primary [J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(7) :99-103. (in Chinese)

[9] ZENG Y, LIANG Y C, PEH E, et al. Sensing-throughput tradeoff for cognitive radio networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(4) :1326-1337.

作者简介:



李婷婷(1991—),女,河南商丘人,2013 年于郑州大学获学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为认知无线电资源分配;

LI Tingting was born in Shangqiu, Henan Province, in 1991. She received the B. S. degree from Zhengzhou University in 2013. She is now a graduate student. Her research concerns resource allocation in cognitive radio networks.

Email:yu2521benben@163. com

杨守义(1965—),男,河南郑州人,2003 年获博士学位,现为郑州大学信息工程学院教授、博士生导师,主要研究方向为无线通信系统、认知无线电、通信信号处理;

YANG Shouyi was born in Zhengzhou, Henan Province, in 1965. He received the Ph. D. degree in 2003. He is now a professor and also the Ph. D. supervisor. His research concerns wireless communication systems, cognitive radio, communication signal processing.

Email:iesyyang@zzu. edu. cn

宁冰(1985—),女,河南郑州人,2009 年获学士学位,现为郑州大学博士研究生,主要研究方向为认知协作下的资源分配问题;

NING Bing was born in Zhengzhou, Henan Province, in 1985. She received the B. S. degree in 2009. She is currently working toward the Ph. D degree. Her research concerns resource allocation in cognitive radio networks.

Email:739840647@ qq. com

王芳(1972—),女,河南郑州人,2010 年获博士学位,现为郑州大学信息工程学院副教授,主要研究方向为宽带无线通信、认知无线电技术。

WANG Fang was born in Zhengzhou, Henan Province, in 1972. She received the Ph. D. degree in 2010. She is now an associate professor. Her research concerns broadband wireless communication, cognitive radio technology.

Email:iefwang@zzu. edu. cn



简讯

《电讯技术》2014 年度发行与传播情况

根据《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司发布的《“中国知网”<电讯技术>发行与传播统计报告》(报告编号 L0541),在 2014 年度发行与传播统计中,《电讯技术》机构用户为 3789 个,比上年度增加了 173 个;机构用户分布在 17 个国家和地区,个人读者分布在 13 个国家和地区,同比均增加明显,年增长率分别为 41.7% 和 44.4%。数据表明,《电讯技术》机构用户一直保持增长态势,充分说明其影响力在逐年提升,编辑部工作成效显著。

本刊编辑部