

## 认知无线电系统中的自适应动态频谱分配方法

苏曦<sup>①</sup> 沈树群<sup>②</sup> 冯志勇<sup>①</sup> 陈星<sup>③</sup>

<sup>①</sup>(北京邮电大学无线新技术研究所 北京 100876)

<sup>②</sup>(北京邮电大学电子工程学院 北京 100876)

<sup>③</sup>(中国移动通信研究院 北京 100053)

**摘要:** 该文提出了一种认知无线电系统中多小区间的动态频谱分配方法。该方法提出了对检测到的空闲频谱的空闲时长的预测机制,在此基础上,提出了基于频谱可靠性的自适应频谱分配算法。该算法在提高系统稳定性的基础上,最大化频谱资源的连续性;不仅实现了认知系统中频谱切换率的降低,同时保证了各小区所分配频谱的连续性,避免系统开销的增加及频谱管理的复杂化。此外,该方法采用图论着色理论模型实现了各小区之间干扰的抑制。仿真结果验证了该文方法的正确性。

**关键词:** 认知无线电; 多小区; 动态频谱分配; 自适应算法

中图分类号: TN915.65

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)12-2801-06

## Adaptive Dynamic Spectrum Allocation in the Cognitive Radio System

Su Xi<sup>①</sup> Shen Shu-qun<sup>②</sup> Feng Zhi-yong<sup>①</sup> Chen Xing<sup>③</sup>

<sup>①</sup>(Wireless Technology Innovation Institute, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

<sup>②</sup>(of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications School, Beijing 100876, China)

<sup>③</sup>(The Research Institute of China Mobile, Beijing 100053, China)

**Abstract:** An adaptive dynamic spectrum allocation scheme among multi-cells in cognitive radio system is proposed. Firstly, the method presents the predicting scheme of idle period of each licensed spectrum units that can be used by cognitive radio, based on this, a dynamic spectrum allocation scheme is proposed to reduce the spectrum handoff ratio and minimize the continuity of the spectrum used by the cognitive radio, which can avoid increment of system overhead and complexity of spectrum management. And the proposed scheme introduces graph theory of coloring to avoid interference among multi-cells. And results of simulation and analysis prove this conclusion.

**Key words:** Cognitive radio; Multi-cells; Dynamic spectrum allocation; Adaptive algorithm

### 1 引言

随着无线通信技术的发展及其应用领域的拓展,频谱资源愈发稀缺,成为无线通信研究领域和运营商不得不面临的问题。但各国相关机构的研究表明,各种无线接入技术对频谱的不合理利用是造成频谱“稀缺”现象的本质原因<sup>[1,2]</sup>,即传统的固定频谱分配方法导致各授权系统不能充分利用授权频谱,而造成授权频谱资源的浪费,及非授权频段的过分拥挤。

目前,认知无线电技术被认为是解决频谱“稀缺”问题,提高频谱利用率的最佳方案<sup>[3,4]</sup>。FCC规定认知无线电系统使非授权用户随机接入授权系统的空闲频谱<sup>[5]</sup>。这实现了授权频谱资源利用率的提

高,缓解了非授权频段过分拥挤的现象。

然而,如何分配频谱才能实现对空闲频谱的有效利用是认知无线电系统亟待解决的关键问题。文献[6-9]提出了利用图论着色论模型对各认知用户或认知小区间进行频谱分配,实现了各认知用户或小区间干扰的抑制。上述研究成果已证实,图论着色理论模型有效地抑制了认知系统小区间的干扰,提高了频谱利用率。但认知无线电系统中的频谱分配问题还应该充分考虑到频谱的特征,尤其是检测到的频谱具有不稳定性。研究如何合理有效地利用空闲频谱资源以降低系统频谱切换率,提高认知系统的整体性能,势在必行。

文献[10,11]设计了动态频谱管理系统及相应的数据库,实现非授权用户对已分配频谱在未使用时的再次利用。但该数据库不提供授权系统在长期使用授权频段过程中的统计参数,而这些参数可用来

预测未来一段时间内空闲频谱被授权用户的占用情况。这对认知系统的频谱分配有重要的意义；并且上述成果不涉及具体的频谱分配方法。

在认知无线电系统中，使用的频谱是通过检测得到的，认知系统在使用这类频谱时受到授权系统的行为制约：当授权系统重新征用某频段时，认知系统必须迅速腾空所使用的此频段以避免对授权系统造成干扰。因此，这类频谱不同于固定分配的频谱，它具有不稳定性，即空闲时长不确定。若认知系统所使用的频段非常不稳定，则这段频谱会被授权系统频繁征用，这将迫使接入该频谱的大量认知用户频繁切换，甚至产生掉话。

本文基于上述对认知无线电系统的分析，给出了授权系统占用频谱行为的具体描述方法，并提出了空闲频谱在未来一段时间内空闲时长的预测机制；基于此，提出了基于频谱可靠性的认知系统自适应动态频谱分配方法，实现了认知系统稳定性的提高，频谱切换率的降低；同时最大化所分配频谱的连续性，避免系统开销的增加及频谱管理的复杂化。

本文的剩余部分安排如下：第2节分析了频谱空闲时长的预测机制；第3节阐述了自适应动态频谱分配方法及实现流程；第4节给出了仿真参数及结果，并对结果进行了分析；最后是本文的结论。

## 2 频谱空闲时长的预测机制

认知无线电系统中使用的频谱来源于授权系统的频谱资源，并通过认知系统的检测机制得到。因此就存在两个关键的概念：授权系统的频谱单元和认知系统的频谱资源块。

授权系统独立使用每个频谱单元，每个频谱单元均具有空闲和占用两种状态以及独立的统计特征。认知系统的频谱资源块是认知系统检测到或使用的频谱资源块，频谱资源块的频谱来自授权系统的一个或多个连续的空闲频谱单元。一块频谱资源块是一段连续的频谱，各频谱资源块之间是不连续的。由于认知系统实际使用的是频谱资源块，因此可以用认知系统使用的频谱资源块的数目多少来表征所分配频谱的连续性情况。

例如，假设检测到授权系统DVB(Digital Video Broadcasting)的两个连续的8 MHz信道空闲，认知小区带宽需求为10 MHz；则授权系统的频谱单元的带宽为8 MHz，认知系统检测到一块带宽为16 MHz的可用频谱资源块。认知系统分配给小区10 MHz频谱资源块，这10 MHz的频谱资源块由检测到的频谱资源块提供。

因此首先要得到频谱单元的空闲时长，由此推导出频谱资源块的可用时长，最后得到认知系统小区的稳定性的表征。

### 2.1 授权系统频谱单元的空闲时长预测

由于授权系统的各频谱单元均具有“空闲”和“占用”两种状态，则对于频谱单元的占用特征描述由两个参量来表征：(1)在考察时间 $\Delta t$ 内，频谱占用度；(2)在考察时间 $\Delta t$ 内，“空闲-占用”的更新次数。

考察单个频谱单元的占用情况，有下列4种典型的情况，如图1所示。

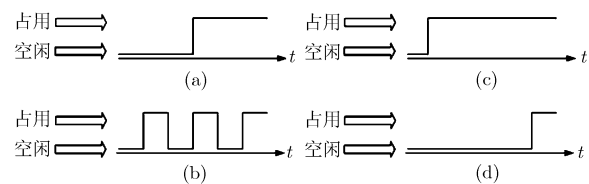


图1 授权系统单个频谱单元空闲-占用情况

在相同考察时间内，频谱单元(a)和(b)有相同的频谱占用度，但(b)情况下，授权用户出现的次数较多。因此，频谱单元(a)具有更好的稳定性。频谱单元(c)和(d)有相同的授权用户出现次数，但(c)具有更高的频谱占用度。因此，频谱单元(d)具有更好的可用性。

在考察时间内，频谱在授权系统中的占用度表征了该频谱的可用性，占用度越高，对认知系统而言，该频谱的可用性越差；而授权用户占用该频谱的次数表征了频谱的稳定性，授权用户出现次数越少，对认知系统而言，该频谱的稳定性越高。因此，为了全面准确地表征频谱的特征，需要联合考虑这两个因素。

授权系统的第 $i$ 个频谱单元在考察时段 $\Delta t$ 内的使用情况如图2所示。

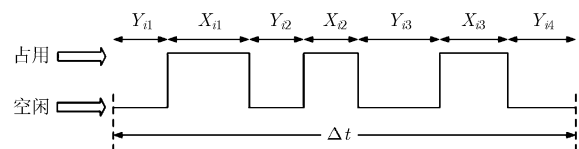


图2 授权系统单个频谱单元在时间 $\Delta t$ 内的空闲-占用情况

其中， $X_{ik}$ 表征第 $i$ 个频谱单元在 $\Delta t$ 时段内的第 $k$ 次占用时长； $Y_{ik}$ 表示第 $i$ 个频谱单元的第 $k$ 次空闲时长。并且 $X_{ik}$ 、 $Y_{ik}$ 均为认知系统在周期性频谱检测过程中记录的实际值。

根据许多个考察时段 $\Delta t$ 内的记录结果，得到频

谱单元  $i$  在这个时间段内的统计占用度:

$$\bar{U}_i = E \left[ \frac{\sum_{k=1}^{\Delta t} X_{ik}}{\Delta t} \right] \quad (1)$$

同样可以得到这个时间段内授权系统接入频谱单元  $i$  的统计次数:

$$\bar{M}_i = E[M_i] \quad (2)$$

其中  $M_i$  为在一个  $\Delta t$  时间间隔内所统计的授权系统在该频谱单元上的出现次数。

根据长期的统计结果, 在未来一段时间  $\Delta t$  内, 授权系统的第  $i$  个频谱单元的空闲时长, 即认知系统的可用时长可近似表示为

$$L_i^{\text{license}} = \frac{[1 - \bar{U}_i] \Delta t}{\bar{M}_i} \quad (3)$$

设置  $\Delta t$  时间间隔, 用于统计在此时间间隔内授权用户特征, 并且  $\Delta t$  时间间隔内应该包含若干个“空闲-占用”周期以保证统计结果的可信程度。在不同的时间点, 授权系统使用频谱的时长和频繁程度不同, 因此在不同时刻,  $\Delta t$  数值的设定是不同的; 而在同一时刻, 检测到的各段空闲频谱可能来自不同的授权系统, 因此也会选取不同的  $\Delta t$  的值。如图3所示, 图3(a)和图3(b)在单位时间内的占用度和出现次数不同, 导致了  $\Delta t$  的值不同。此外,  $\Delta t$  还与认知系统的业务特征有关, 即  $\Delta t$  应该长于平均业务时长若干倍, 并且由于授权用户征用频谱的随机性, 因此  $\Delta t$  的数值不宜过长。

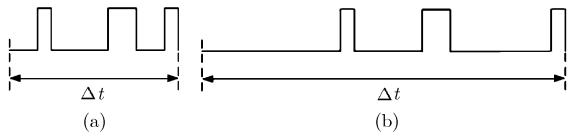


图3 不同时段选取不同的  $\Delta t$  的值

## 2.2 频谱资源块的可靠性及认知系统的稳定性描述

本文2.1节给出了授权系统单个频谱单元空闲时长的预测值, 但认知系统所使用的频谱资源块抹杀了授权系统频谱单元的界限。频谱资源块可能由多个连续的频谱单元组成。

假设认知系统所使用的第  $j$  个频谱资源块中有  $N_j$  个连续的频谱单元组成。这里定义第  $i$  个频谱单元的可靠性为

$$R_i^{\text{license}} = \frac{L_i^{\text{license}}}{L_{\text{max}}^{\text{license}}}, \quad L_{\text{max}}^{\text{license}} = \max\{L_i^{\text{license}}\}, i = 1, \dots, N_j \quad (4)$$

频谱单元的可靠性表征的是频谱单元的可用时长比值, 其数值范围为(0,1]。

则认知系统第  $j$  个频谱资源块的可靠性  $R_j^{\text{cognitive}}$  为

$$R_j^{\text{cognitive}} = \min\{R_i^{\text{license}}\}, i = 1, \dots, N_j \quad (5)$$

认知系统中频谱资源块的可靠性  $R_j^{\text{cognitive}}$  表征了认知系统使用此频谱块的可靠程度;  $R_j^{\text{cognitive}}$  越大, 表明认知系统持续使用该频谱的时间越长, 单位时间内的频谱切换次数越少。当频谱资源块中的任何一个频谱单元被占用时, 频谱资源块的连续性被破坏且不能满足系统的带宽需求, 变化后频谱资源块的带宽可能不再属于认知系统所支持的信道带宽的标准。

认知小区的带宽需求由一块或多块空闲的频谱资源块来满足, 因此认知小区的稳定性与所分配到的各频谱资源块的带宽, 总的带宽需求等因素有关。

假设认知小区由  $N_c$  块频谱资源块来满足带宽需求, 其中第  $j$  块频谱资源块的可靠性和带宽分别为  $R_j^{\text{cognitive}}$  和  $B_j^{\text{block}}$ ,  $j=1, 2, \dots, N_c$ 。这里给出认知小区稳定性的表征:

$$\bar{R} = \sum_{j=1}^{N_c} \lambda_j R_j^{\text{cognitive}}, \quad \lambda_j = \frac{B_j^{\text{block}}}{\sum_{j=1}^{N_c} B_j^{\text{block}}}, \quad \sum_{j=1}^{N_c} \lambda_j = 1 \quad (6)$$

认知小区的稳定性表征在一个分配周期内小区占用频谱的时长与带宽情况; 占用的带宽越大, 使用时长越长, 则该小区的稳定性越好。式(6)的物理意义是认知小区的稳定性为该小区所使用的所有频谱资源块可靠性的加权之和, 权值为各频谱资源块带宽与总带宽之比。

## 3 自适应动态频谱分配算法

### 3.1 基本思想

图4表示同一块频谱资源在认知系统中某小区中的两种不同分配情况, 横坐标是连续的各频谱单元, 纵坐标为根据式(4)得到的各频谱单元的可靠性。假设检测到的一块空闲的频谱资源块由10个连续的频谱单元组成, 认知系统需要5个频谱单元的带宽来满足需求。在图4(a)中认知系统分配了一段连续的频谱, 这种情况下根据式(5)得到该频谱资源块的可靠性如图4(a)中的直线所示; 在图4(b)中认知系

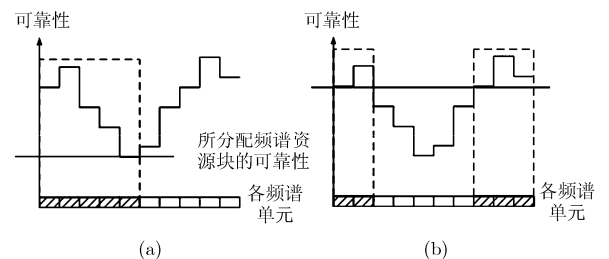


图4 同一频谱资源块的两种不同的分配方法

统分配了两段频谱资源来满足带宽需求,所分配频谱资源块的可靠性如图4(b)中直线所示。很显然,图4(b)所分配的频谱资源块具有更高的可靠性,则认知系统的小区具有更好的稳定性。

由上述分析可以看出,损失频谱的连续性有可能换来系统稳定性的提高。但连续的频谱需要较少的系统开销并且易于频谱管理。因此在动态频谱分配方法中需要在系统稳定性和频谱连续性之间权衡。根据此基本思想,本文提出了自适应动态频谱分配方法,兼顾系统的稳定性及频谱的连续性两个因素,同时实现各小区之间干扰的抑制。

### 3.2 各认知小区的最优化目标模型

认知系统中动态频谱分配方法要实现的目标是:在满足小区频谱需求和系统稳定性要求的前提下,根据检测到的各频谱资源的特征,动态分配频谱,使得各认知小区尽量使用到连续的频谱,即认知小区所分配到的频谱资源块的数目最少。基于此物理意义,可以用最优化数学模型表示为

$$\begin{cases} \min N_c \\ \text{s.t.} \sum_{j=1}^{N_c} B_j^{\text{block}} \geq B \\ \bar{R} \geq R_{\text{门限}} \end{cases} \quad (7)$$

式(7)中 $N_c$ 表示分配给认知小区的频谱资源块数; $B_j^{\text{block}}$ 为认知系统中第 $j$ 个频谱资源块数的带宽, $j=1,2,\dots,N_c$ ;  $B$ 表示该小区的带宽需求; $R_{\text{门限}}$ 为保证认知小区的稳定性要求门限。

认知小区稳定性要求门限 $R_{\text{门限}}$ 表示小区的稳定性要求指标:(1) $R_{\text{门限}}$ 分布在区间(0,1]之间;(2) $R_{\text{门限}}$ 为系统对频谱持续可用时间的要求,也是系统对频谱切换次数的限制;(3) $R_{\text{门限}}$ 与小区中所承载的业务特性有关;(4) $R_{\text{门限}}$ 的值影响了认知系统的稳定性及系统开销大小。 $R_{\text{门限}}$ 的值可以根据系统中用户满意度及系统开销情况,以及检测到的频谱特征进行调整。

### 3.3 图论着色论模型实现认知小区间的干扰抑制

多小区间干扰的抑制策略目前有很多研究成果<sup>[12]</sup>。本方法采用图论着色理论模型实现各认知小区之间干扰的抑制。该理论模型的实质是通过对相关小区的可用频谱资源进行限制,以抑制小区间的干扰<sup>[7]</sup>。在为多小区分配频谱时,未分配频谱的小区根据相关小区已分配频谱情况更新自身的可用频谱资源,以实现彼此间干扰的抑制。

相关小区是根据认知系统的频率复用比确定的与目标小区不能使用相同频谱的小区,即 $D < d_0(f)$ 范围内的小区,其中 $D$ 是其他小区基站与目标小区

基站之间的距离, $d_0(f)$ 为频谱复用的最小距离。同时,由于各频段自身的传输特性, $d_0(f)$ 的值是频谱 $f$ 的函数,反映了频谱不同导致的频谱复用最小距离的不同。

### 3.4 具体实现流程与步骤

本文提出的多小区间的自适应动态频谱分配方法的具体实现流程如图5所示。在该流程中采用了图论着色理论模型的思想<sup>[9]</sup>抑制了小区间的干扰;并且在为每一个小区分配频谱时,根据各小区检测到的频谱资源及带宽需求、小区稳定性要求门限,按照最优化学理论模型式(7)分配频谱,频谱分配的结果可以由最优化算法得到也可以由有以下若干步骤完成。

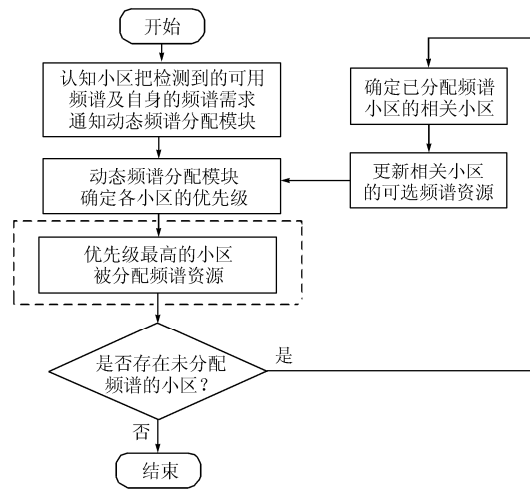


图5 动态频谱方案的具体实现流程图

- (1)把检测到的各频谱资源块按带宽大小排序;
- (2)根据小区的带宽需求,选出满足带宽需求的频谱资源块;
- (3)在满足带宽需求的频谱资源块中找出可靠性最大的频谱资源块;
- (4)判断所选的频谱资源块是否满足小区的稳定性要求门限;
- (5)如果满足,则对该小区的频谱分配过程结束;如果不满足,小区的带宽需求分裂,即分配两块频谱资源块来满足小区的带宽需求以获得小区稳定性的提高,满足小区稳定性要求门限;如果仍不满足,继续分裂小区的带宽需求,直到门限条件满足;在无法满足时,选择可靠性最高的频谱资源块分配给该小区,完成对该小区的频谱分配。

## 4 仿真结果及分析

为了验证本文所提出的自适应动态频谱分配方法在系统性能上的增益,本文利用 MATLAB 仿真工具搭建了动态频谱分配的仿真平台。为了突出所

说明的问题, 我们把不必要的因素做了简化处理, 即假设所有的频谱资源都来自同一个授权系统, 信道带宽相同且  $\Delta t$  取相同的值。对比方案采用基于着色论的频谱分配方法<sup>[6]</sup>, 即仅考虑如何抑制各小区间的干扰, 但不考虑各段空闲频谱的统计特征。具体参数如表 1 所示。

表 1 动态频谱分配的仿真参数

频谱检测的带宽范围	80 MHz
授权系统频谱单元的带宽	1 MHz
目标小区的带宽需求	10 MHz
考察时段 $\Delta t$	300 s
各频谱单元占用度取值范围	[0,2,0,8] 均匀分布
各频谱单元上授权系统出现次数	[4,16] 均匀分布
统计样本数	1000 个 $\Delta t$ 样本
认知小区直径	$D$
频谱复用距离	$D$ 和 $2D$

**仿真场景 1** 以单一认知小区为例, 仿真本文所提出的动态频谱分配方法比传统的仅考虑频谱连续性的频谱分配方法带来的系统性能上的增益。系统的性能分别从式(6)定义小区稳定性和单位时间内的频谱切换次数两方面来表征。仿真结果如图 6 所示, 为小区实际稳定性和频谱切换次数的累积分布补图。

从图 6(a)可以看出, 本文提出的方法能够给小

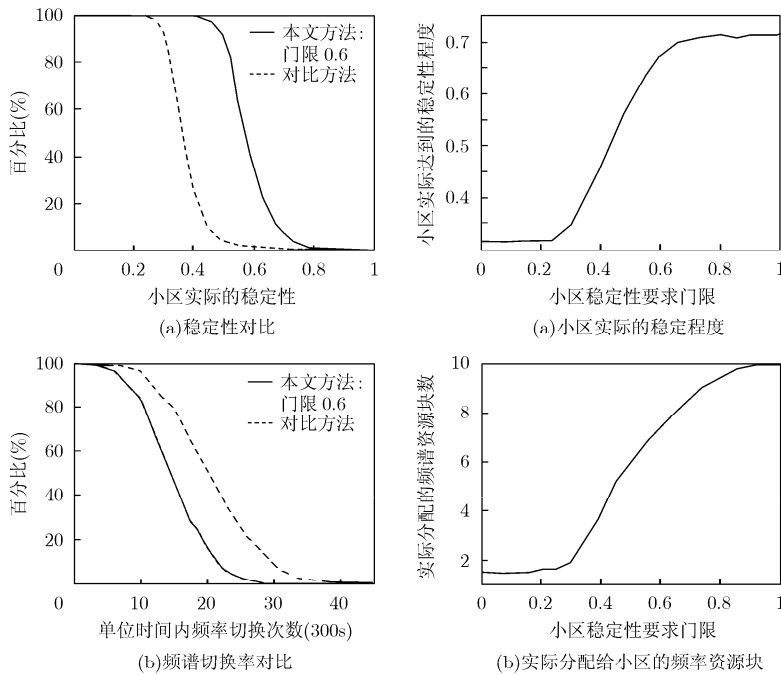


图 6 单小区场景下本文方法与对比方法造成的小区稳定性和频谱切换率上的对比图

区带来更高的稳定性, 图 6(b)反映了本文方法使认知小区的频谱切换次数明显降低; 两图结合起来, 验证了小区稳定性越高, 则小区单位时间内的频谱切换次数越低。

在本文方法中提出了小区稳定性要求门限的概念, 图 7(a)揭示了小区稳定性门限与小区实际稳定性之间的关系, 从图中可以看出分配给小区的频谱资源能够使该小区的稳定性达到门限要求。但是当门限大于 0.7 时, 随着门限的增加, 小区的实际稳定性仅维持在 0.7 附近, 这是因为, 当小区稳定性要求大于 0.7 时, 不存在同时满足门限要求和带宽需求的频谱资源, 此时, 小区分配到的频谱资源能够满足带宽需求, 并且可靠性最高; 图 7(b)说明了小区稳定性要求门限与所分配的频谱资源块数之间的关系, 小区稳定性要求门限越高, 则分配到的频谱资源块数越多, 证实了本文方法的基本思想, 即损失频谱的连续性能换来小区稳定性的提高。

**仿真场景 2** 在多个认知小区场景下, 随机产生 6 个有带宽需求的小区, 基于不同的频谱复用距离的情况, 仿真本文方法与对比方法在频谱切换率上的差异。仿真结果如图 8 所示, 为系统中各小区频谱切换次数的累积分布补图。

在多小区场景中, 本文方法同样能带来频谱切换次数的显著降低, 同时在频率复用距离小的情况

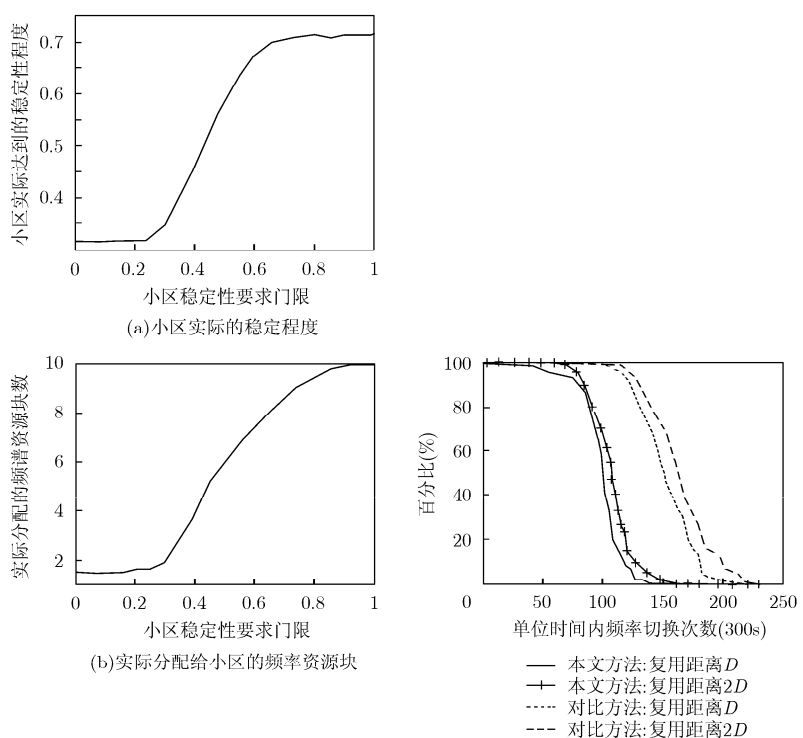


图 7 小区稳定性要求门限与实际分配频谱造成的小区稳定程度、实际分配的频谱资源块数的关系

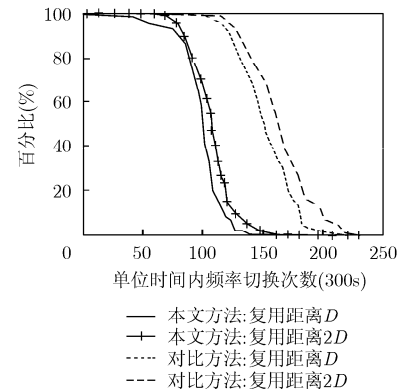


图 8 多小区场景中本文方法和对比方法在不同频谱复用距离下频谱切换率上的对比图

下会有更大的增益,这是因为可靠性高的频谱被更多小区重复利用。

## 5 结束语

本文提出了认知无线电系统中多小区自适应动态频谱分配方法,该方法中的自适应体现在认知系统根据频谱检测情况及各小区自身的带宽需求和稳定性要求动态分配给小区满足条件的频谱资源。该方法不但能提高认知系统的稳定性,并且最大化频谱的连续性;这降低了认知系统的频谱切换率,同时避免了系统开销的增加及频谱管理的复杂化。在多小区之间的干扰抑制方面,本文采用了着色论方法抑制了小区间的干扰。本文方法所带来的系统性能的增益在仿真结果中得到了证实。

## 参考文献

- [1] Mchenry M. Spectrum white space measurements. <http://www.newamerica.net/>. 2007.7.
- [2] Federal Communications Commission: Spectrum policy task force report. <http://www.fcc.gov/sptf/>. 2007.7.
- [3] Mitola J III and G Maguire Jr. Cognitive radio: Making software radio more personal [J]. *IEEE Personal Communications*, 1999, 6(4): 13-18.
- [4] Akyidiz I F, Lee W Y, Vuran M C, and Mohanty S. Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey [J]. *Computer Network Journal*, 2006, 50(13): 2127-2159.
- [5] Federal Communications Commission (FCC). Notice of Proposed Rule Making. ET Docket, May, 2004, FCC04-113.
- [6] Zheng Hai-tao and Peng Chun-yi. Collaboration and fairness in opportunistic spectrum access [C]. IEEE International Conference on Communications (ICC), Seoul Korea, 16-20 May, 2005, Vol. 5: 3132-3136.
- [7] 廖楚林, 陈劼, 唐友喜, 李少谦. 认知无线电中的并行频谱分配算法. *电子与信息学报*, 2007, 29(7): 1608-1611.  
Liao Chu-lin, Chen Jie, Tang You-xi, and Li Shao-qian. Parallel algorithm of spectrum allocation in cognitive radio [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2007, 29(7): 1608-1611.
- [8] 吴非, 陈劼, 廖楚林, 李少谦. 认知无线网络中基于需求的多小区频谱分配算法. *计算机应用*, 2008, 28(1): 14-16.  
Wu Fei, Chen Jie, Liao Chu-lin, and Li Shao-qian. Demand-based spectrum allocation algorithm in multi-cells cognitive radio network [J]. *Computer Applications*, 2008, 28(1): 14-16.
- [9] Sengupta Shamik, Brahma Swastik, and Chatterjee Mainak, et al. Enhancements to cognitive radio based on IEEE 802.22 air-interface [C]. IEEE International Conference on Communications (ICC), Glasgow Scotland, 24-28 June 2007: 5155-5160.
- [10] 杨家玮, 阙颖, 李建东, 等. 基于频谱多重使用的动态频谱管理方法. 中国, 200610043082, 2006.  
Yang Jia-wei, Que Xing, and Li Jian-dong, et al. A dynamic spectrum management scheme based on spectrum multi-used [P]. China, 200610043082, 2006.
- [11] 杨家玮, 高波, 李建东, 等. 支持动态频谱管理的数据库和数据查询方法. 中国, 200610043080, 2006.  
Yang Jia-wei, Gao Bo, and Li Jian-dong, et al. Database and database searching method based on dynamic spectrum management [P]. China, 200610043080, 2006.
- [12] 沈嘉. OFDM系统的小区干扰抑制技术研究. *电信科学*, 2006, 22(7): 10-13.  
Shen Jia. On Inter-cell interference mitigation for OFDM system [J]. *Telecommunications Science*, 2006, 22(7): 10-13.

苏 曦: 女, 1982年生, 博士生, 研究方向为认知无线电关键技术。

沈树群: 男, 教授, 1945年生, 博士生导师, 研究方向为无线通信网络。

冯志勇: 女, 1971年生, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为异构网络、下一代移动网络。