

基于认知的频谱切换技术

Cognitive-Based Spectrum Handover Technology

中图分类号:TN92 文献标识码:A 文章编号:1009-6868(2009)02-0034-05

摘要: 文章利用认知频谱检测、动态频谱分配、重配置等技术,考虑短时频谱特征与业务特征的匹配程度,在通信过程中网络侧选择待切换终端发起切换命令,解决由于容量受限而导致的系统过载、无法接纳新会话等问题,并在保证用户服务质量(QoS)的前提下提高切换成功率,有效消除过载现象,从而增大系统吞吐量,允许更多的会话接入,降低阻塞率,提升通信系统性能。

关键词: 频谱切换; 认知无线电; 动态频谱分配; 资源适配

Abstract: Based on spectrum sensing, dynamic spectrum allocation and reconfiguration technologies in Cognitive Radio (CR), this paper fully considers the matching issues between short-term spectrum characteristic and service characteristic. In the communication process, the network-side chooses switch terminals to initiate handover command to solve problems due to limited capacity of the system, such as overload and new session decline, improving the success rate of switching on the premise of ensuring users Quality of Service (QoS), reducing blocking probability with more session admission, eliminating overload, increasing system throughput, and improving the whole system performance.

Key words: spectrum handover; cognitive radio; dynamic spectrum allocation; resource matching

苗丹/MIAO Dan¹陈星/CHEN Xing²

(1. 北京邮电大学, 北京 100876;

2. 中国移动通信研究院, 北京 100053)

(1. Beijing University of Posts and

Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. Research Institute of China Mobile

Communications Corporation, Beijing 100053, China)

时间和地点的不同而不断变化的,然而当前大多数无线电系统的频谱都是根据“峰值时刻”的通信量来分配,因此在非“峰值时刻”的频谱资源都未能得到充分利用,以致于造成浪费。

基于认知无线电(CR)的频谱共享概念由J.Mitola首次提出^[1],这一技术使得在任何时间、任何地点灵活利用频谱资源成为可能。认知无线电技术的出现,极大地提高了频谱利用率,缓解日益增长的无线业务需求与日渐匮乏的频谱资源之间的矛盾,被普遍认为是解决目前无线频谱利用率低问题的最佳方案。该技术不仅会改变无线通信系统的工作模式,使无线通信系统从计划经济走向市场经济,从过分依赖人工配置的工作模式走向智能控制;还会改变现有无线网络的管理模式和频谱管理制度与规则,同时,对设备制造商、业务用户、运营商都提出了挑战。

为了实现频谱资源的高效利用,出现了动态频谱分配技术^[5],用于解决频谱资源“浪费”与“短缺”的矛盾,其研究的主要问题可以分为两类:一类是技术问题,一类是经济问题。所谓技术问题,是指用于完成动态频谱分配所需的一系列附加性技术,这些包括:频谱检测技术^[6-8]、干

1 研究背景

无线电通信频谱是一种宝贵的、有限的资源,目前由国家统一分配、授权使用。一个频段一般仅供一个无线通信系统独立长期使用,不同的无线通信系统使用不同的频段,互不干扰。

但是,随着无线通信的迅速发展,特别是由于近来基于频谱的服务和设备显著增加,人们对频谱资源的需求越来越大,频谱资源日趋匮乏。这种预先分配、长期授权使用的静态频谱管理方式,授权系统容量固定且

有限,使某些频段承载的业务量很大,使用网络资源的大多数移动终端只能在本系统长期固定分配频段内使用,且只具有基本通话和数据业务能力,随着终端数目的增多,系统过载情况频繁发生,必将导致网络服务性能的下降,降低用户满意度,这是目前运营商面临的一大难题。

虽然目前已经有了有一些技术,例如接纳控制^[1]、负载调控^[2]、跳频^[3]等试图消除过载现象,但问题的根本在于传统的频谱分配政策,使得系统容量是一个固定值,这使得网络所能承载的用户数达到上限,网络性能形成“瓶颈”。而另一些频段却在大部分时间内没有用户使用,白白浪费了频谱资源。无线电系统的通信量是随着

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60832009)

扰抑制技术^[9-11]、功率控制技术^[12-13]等等。所谓经济问题,是指在动态频谱管理过程中,频谱的所有者和使用者如何对该段频谱产生的经济效益进行分配,这主要体现在频谱分配算法和机制上,例如拍卖算法、频谱租赁机制^[14]等。

在这种发展趋势下,终端和网络设备需要具备可重配置能力^[15],即能够支持工作频率及技术参数的转换从而可以使用比以往固定分配更多的无线资源。另外,重配置技术的实现使得在小区内(单个基站内)完成动态快速频率分配及频谱切换动作变得灵活简单。与此同时随着技术演进,原有的不可重配置移动终端在较长时间内将会与可重配置移动终端共存,但即使终端支持可重配置,其使用的业务类型也需要对目标切换频率特征有所要求。

在此技术背景下,系统一方面可以通过网络间协商方式获得短期租用频谱,另一方面可以通过认知无线电技术检测频谱空洞,有机会时接入,进而能够对本系统容量进行补充。已有的动态频谱分配方法仅仅用于如何将频率在无干扰的情况下进行动态分配,并没有涉及分配之后如何使用的问题,而现有技术方案对于频谱资源的使用与管理都是在频谱资源信息已知且长期可用的前提下进行的。

考虑到新分配资源的暂时性及异质性等因素,尤其是由频谱检测获得的短时不稳定资源,其频谱资源信息的获得具有不完全性和不确定性,暂时可用资源的使用问题与原有固定长期分配资源的使用有着明显的区别。频谱切换会引入一定时间的延迟,还会影响网络结构,因此,在频谱切换期间要尽可能确保各种应用的服务质量不受影响。对于现有系统来说,绝大多数用户终端硬件或软件能力并不支持其他频段的使用,就会出现即使有资源可用也用不了的情况;另外,即使终端的硬件/软件能力、移

动速率、带宽需求等满足频谱切换的条件,由于频率特征的暂时性及不稳定性等因素,某些业务类型对于服务质量(QoS)的要求并不适合承载在这种暂间性不稳定频率上,若强行硬切换,就会产生掉话等一系列严重后果。因此在获得新的频率资源后如何进一步使用,允许更多的用户接入,增大系统吞吐量,是目前需要解决的问题。

在无线通信系统单小区场景中,随着用户数逐渐增多,系统容量近于饱和的情况下,利用认知频谱检测、动态频谱分配、重配置等技术,充分考虑短时频率特征与业务特征等因素,本文提出一种基于认知的频谱切换方法,用于解决由于容量受限而导致的系统过载,无法接纳新会话等问题,保证用户QoS的前提下提高切换成功率,从而提高系统吞吐量,降低阻塞率,提升通信系统性能。

2 基于认知的频谱切换方法

假设系统本身拥有长期固定分配的频率,基站及部分终端支持频率重配置功能,可检测到的频率资源充足。在单小区场景下,当系统负载超过一定门限情况下,通过网络间协商租赁频谱资源,或终端检测获得频谱空洞方式,获得短期可用频谱资源,且来缓解系统压力、补充系统容量,实现频谱资源的动态分配及系统容量的扩充。

考虑到由动态频谱分配获得的频率资源是暂时的,而且频率资源信息存在不完全性、不确定性以及不稳定性,尤其是由频谱检测所获得频率资源,所检测频段授权系统随时都有再次占用该频谱资源的可能,作为次级机会式接入的系统要随时准备重新切换到其他空闲频段。因此,若使用新分配的短时资源,就会产生一系列的问题,除了终端能力是否支持该频段的使用,还要考虑业务类型是否与频率特征匹配,即业务是否适合在该频段承载以及由于频谱时效性

所带来的资源重分配流程不同等等。因此在选择终端进行频率资源切换时,除了要考虑终端软/硬件的可重配置能力、业务带宽、移动速度等因素外,还需要考虑终端所承载的业务类型是否适合切换到目标频段,即与短时频率特征的适配问题,否则切换后容易产生掉话等一系列严重的后果。

考虑到普通非可重配置移动终端对于新资源存在不可使用性,即使动态分配了频谱资源也不能够很好的利用,并不能够达到提高频谱利用效率的目的。因此考虑在新资源使用的初始,无需等待新会话的到来,选择原有频段内携带会话的可重配置移动终端适配并切换至新的频谱资源,增大切换成功率,使得原有授权频段能够接纳更多的非可重配置的普通移动终端,从而增大系统容量及吞吐量。

2.1 短时频谱资源特征描述及分类

网络侧将可用频谱资源按特征进行分类,这里分为三大类:

(1) 系统固有长期频谱资源

系统原始固有频谱资源,其特征表现为:固定分配、长期稳定可用、信息完全。

(2) 租赁频谱资源

通过买卖租赁或网络协商获得的短时可用频率资源,其特征表现为:动态分配、短期可用、信息完全、较稳定。

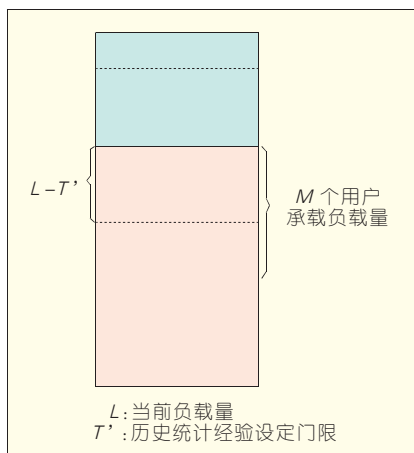
(3) 检测频谱资源

通过频谱检测获得的可用频率资源,其特征为:机会式动态分配、短期可用、信息不完全、稳定性差。

其中,租赁频谱资源与检测频谱资源均为短时频谱资源,其频谱特征可采用统计特征参数表征,主要统计特征参数包括:

(1) 可用性

表征资源当前状态是否可用,包括是否空闲且允许机会式接入、频谱质量(频段特征、信噪比等特征)、频谱



▲图1 单小区系统负载量容器

价格等。

(2)可用时长

对于租赁频谱资源,表征租赁频谱资源的租赁时长;对于检测频谱资源,表征检测频谱资源在一定概率下的可用时长。

(3)稳定性

表征资源状态的持续稳定程度,是可用时长的函数,可由两状态马尔可夫过程表示。

对于不同的检测频率资源,可按照可用时长进行频率资源排序。

2.2 业务特征描述及分类

现有无线通信系统将业务类型主要划分为4类,其中包括会话类(Conversational)、流类(Streaming)、交互类(Interactive)及背景类(Background),这4类业务对传输时延的要求差别很大。会话类和流类业务均属于时延敏感类业务,而交互类和背景类对时延要求不大,属于非时延敏感类业务。

业务特征主要描述参数:

- 时延要求
- 估计业务时长
- 业务带宽

不同用户终端承载不同业务类型,其业务对时延($DL_i, i=1 \cdots K$, 单位ms)的要求也各不相同, DL_i 反映业务类型对频谱资源稳定性的要求,根据不同的时延要求将业务进行分类,并进行频率资源的适配,即 DL_i 越小

对频率稳定性要求越高,越适宜承载在信息完全、稳定度高的频谱资源上。例如:对于时延敏感类业务(例如Conversational、Streaming),参照可用频率列表,优先选择切换至频谱信息确定、稳定度高的短时频率资源。对于非时延敏感类业务(例如Interactive、Background),参照可用频率列表,可选择切换至频谱信息不确定、稳定度相对较高的短时频率资源。

对于频率稳定性要求不大的业务类型,估计其业务时长,并按照该参数将终端承载业务进行排序。

2.3 资源适配

资源适配时须将多重因素综合考虑,这些因素有但不限于:

- 业务时延要求与短时频谱稳定性特征适配
- 估计业务时长与短时频谱可用时长适配
- 业务带宽要求与短时频谱资源容量适配

ϕ 为时延要求门限/频率稳定性要求门限(单位ms), ϕ 值可调。

首先,按照不同的时延要求选择目标切换资源,将承载业务终端定向至不同类型的短时频谱资源上。

$DL_i < \phi$ 时,切换时将该类业务适配至租赁频谱资源, $DL_i \geq \phi$ 时,切换时将该类业务适配至检测频谱资源。

对于目标切换资源为租赁频谱资源的终端,若需要发起频谱租赁过程,则根据所需容量及估计业务时长,选择满足容量需求及租赁时长需求的租赁频谱资源。

对于检测获得频谱资源,多承载非时延敏感类业务,尽量将估计业务时长 Tu_i 长的终端切换至频率稳定性中统计间隔(即频谱可用时长)长的目标载频,直到该载频不能再分配更多的业务带宽,即满足:

$$\sum_{i=1}^n b_i \leq B_j, i=1 \cdots n, j=1 \cdots C$$

其中, b_i 为第*i*个终端承载业务的带宽, B_j 为基站配置的第*j*个载频 f_j 的容量, C 为基站配置的检测频谱资源

载频数(相对于切换量足够多)。

2.4 频谱切换流程

在小区内负载量超过一定门限的情况下,选择终端进行切换,考虑频谱特征与业务类型的匹配关系,将待切换终端进行资源适配。

由于频谱租赁过程存在经济利益或网络间协商的环节,一般情况下如果有可机会式接入的频谱资源可用的话,目前可切换终端业务类型对时延并不敏感且其切换数量能够满足消除过载现象,则不进行频谱租赁环节,而直接使用通过频谱检测所获得的频谱资源。

考虑对于 DL 较小的时延敏感类业务,目标待切换终端的业务类型不适合承载在通过检测获得的不稳定的短时频谱资源上,容易产生掉话,此时需要发起频谱租赁过程,租用短期可用信息完全且稳定的频谱资源。而对于时延敏感性要求不大的业务类型,则按照其估计业务时长适配至统计可用时长的检测获得频率资源上。

整个切换流程分为两部分:负载量超过门限 T' 时网络侧发起的资源适配切换过程;短时频谱资源到期或不可用时网络侧发起的切换过程。

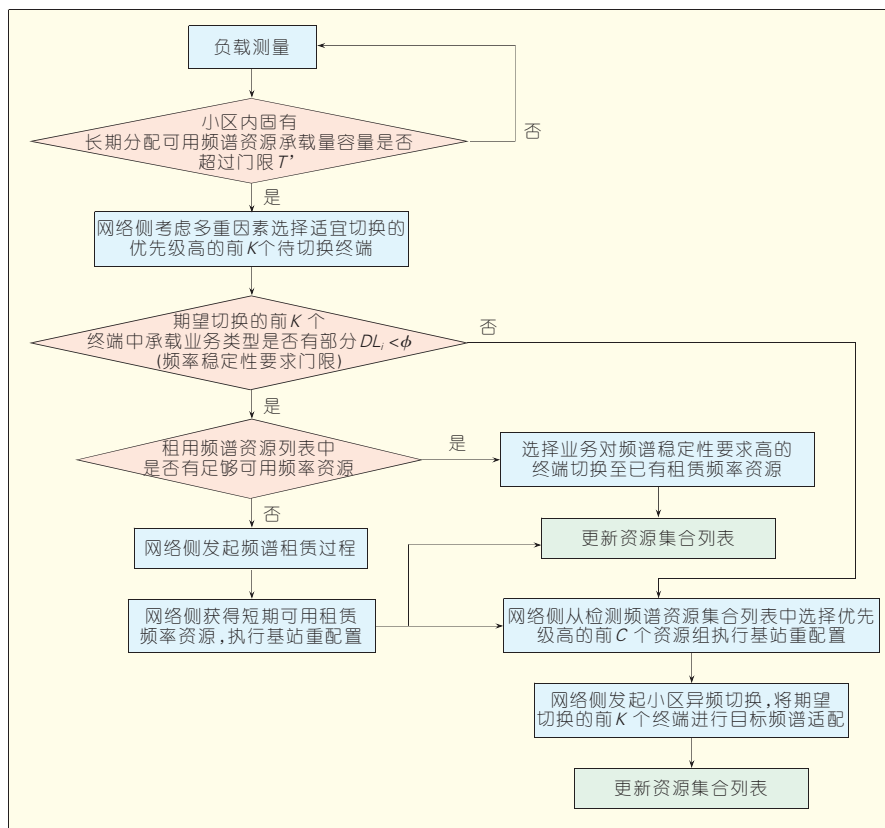
对于新到达的会话,只在固有长期频谱资源上执行接纳控制过程。

2.4.1 参数设定

图1为单小区系统负载量容器示意图。图1中:

- T :过载门限,即若负载量超过该门限,则系统处于过载状态。
- T' :历史统计经验设定门限,该门限下系统处于最优性能状态。
- L :当前负载量,此处可以用带宽来表征。

• M :可切换用户数,综合考虑终端上报信息,包括终端重配置能力、时延要求、带宽需求、移动速率等信息,将这些适宜切换的用户按照时延敏感性由低到高排序,在这些用户中



▲图2 租赁发起判决、重配置及切换流程

优先选择时延敏感性要求低的作为待切换终端。(所谓可切换,指该用户满足终端可重配置最基本因素,另外如上所述的综合考虑的因素包括时延敏感性较低、移动速度较慢等。)

设 N 为承载负载量 $(L-T')$ 的用户数, K 为期望切换用户数,则 $K=\min(N,M)=n_{DL_i < \phi + n_{DL_i \geq \phi}}$ 。

2.4.2 租赁发起判决、重配置及切换

图2所示为租赁发起判决、重配置及切换流程。

租赁发起判决、重配置及切换流程步骤如下:

(1)网络侧发起负载测量,执行步骤2。

(2)判断小区内固有长期分配可用频谱资源承载负载量是否超过门限 T' ,若是,执行步骤3;若否,执行步骤1。

(3)网络侧考虑多重因素,选出 M 个适宜切换终端,按照时延敏感性由

低到高进行优先级排序,时延敏感性越低优先级越高,选择期望切换的优先级高的前 K 个待切换终端,执行步骤4。

(4)判断前 K 个期望切换终端中承载业务类型是否有部分 $DL_i < \phi$,若是,执行步骤5;若否,执行步骤9。

(5)判断租用频谱资源列表中是否有足够可用频率资源,若是,执行步骤6;若否,执行步骤7。

(6)尽量选择业务对频谱稳定性要求高的终端切换至已有租赁频谱资源,执行步骤11。

(7)网络侧发起频谱租赁过程,执行步骤8。

(8)网络侧获得短期可用租赁频谱资源,执行步骤11,基站重配置,执行步骤9。

(9)网络侧从检测频谱资源列表中选择优先级高的(统计可用时长长的)前 C 个可用检测资源组,基站进行重配置,执行步骤10。

(10)网络侧发起小区内异频切换过程,将期望切换的前 K 个终端进行目标频谱资源适配,执行步骤11。

(11)更新资源集合列表,执行步骤12。

(12)返回。

2.4.3 租赁频谱资源即将到期

图3所示为租赁频谱资源即将到期时系统流程。

租赁频谱资源即将到期时系统流程步骤如下:

(1)短期可用租赁频率资源即将到期时,执行步骤2。

(2)判断承载业务是否尚未结束,若是,执行步骤3;若否,执行步骤8。

(3)判断短期租赁频率资源列表中是否有其他可用资源,若是,执行步骤4;若否,执行步骤5。

(4)将尚未结束的回话切换到租赁频谱资源列表中的其他尚未到期的短期可用租赁频谱资源上,执行步骤8。

(5)判断固有长期频率列表中是否有足够可用资源,若是,执行步骤6;若否,执行步骤7。

(6)将尚未结束会话切换回固有长期频率资源上,执行步骤8。

(7)网络侧发起频谱租赁过程,执行步骤8。

(8)更新资源集合列表,执行步骤9。

(9)返回。

2.4.4 授权系统再现

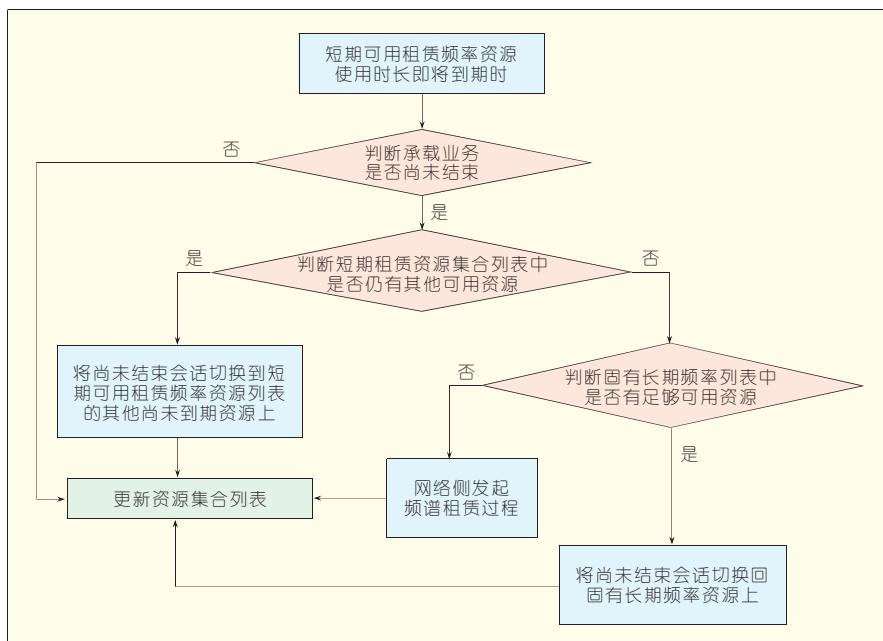
图4所示为检测资源授权系统再现时系统流程。

检测资源授权系统再现时系统流程步骤如下:

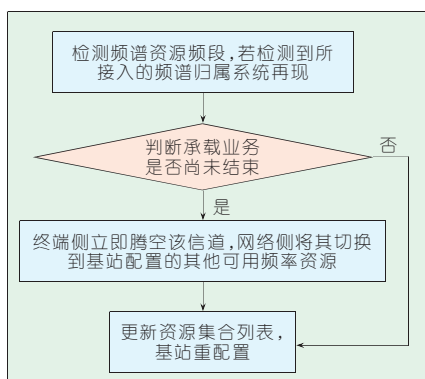
(1)检测频率资源频段,若检测到所接入的频谱授权系统再现,执行步骤2。

(2)判断承载业务是否尚未结束,若是,执行步骤3;若否,执行步骤4。

(3)立即腾空信道,网络侧将该会话切换至基站配置其他可用频率资源,执行步骤4。



▲图3 租赁频谱资源即将到期时系统流程



▲图4 检测资源授权系统再现时系统流程

(4)更新资源集合列表,基站重配置,执行步骤5。

(5)返回。

3 结束语

认知无线网络中的资源管理与现有网络资源管理最根本的区别在于,认知无线网络频谱资源的时变性,基于这种频谱资源的特征,在认知无线网络中发起切换、接纳控制等均需要考虑频谱资源的时变性,尽量在无序的变化中寻找规律,保证用户的基本QoS,最大化整个系统的吞吐量,减少系统开销,降低对授权系统造成的干扰。另外,由于频谱资源

的异质性,对于接纳控制来说,未来的研究可以考虑用户的偏好,以及业务特征等因素,将用户按照其需求分配不同的无线资源,实现跨层优化。

4 参考文献

- [1] TRAGOS E Z, TSIROPOULOS G, KARETSOS G T, et al. Admission control for QoS support in heterogeneous 4G wireless networks[J]. IEEE Network, 2008,22(3):30-37.
- [2] ZENG Z, VEERAVALLI B. Design and performance evaluation of queue-and-rate-adjustment dynamic load balancing policies for distributed networks[J]. IEEE Transactions on Computers, 2006,55(11):1410-1422.
- [3] 陈宏滨,冯久超.一种混沌跳频码的产生方法及其在通信中的应用[J].吉林大学学报:工学版, 2008,38(1):211-218.
- [4] MITOLA III J, MAGUIRE G Q Jr. Cognitive radio: making software radios more personal[J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(4):13-18.
- [5] LEAVES P, MOESSNER K, TAFAZOLLI R. Dynamic spectrum allocation in composite reconfigurable wireless networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(5): 72-81.
- [6] SHANKAR S. Spectrum agile radios: utilization and sensing architecture[C]//Proceedings of 1st IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN'05), Nov 8-11, 2005, Baltimore, MD, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE 2005:160-169.
- [7] PENG Q H, ZENG K, WANG J, et al. A distributed spectrum sensing scheme based on credibility and evidence theory in cognitive radio context[C]//Proceedings of 17th IEEE

- International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications(PIMRC' 02), Sep 11-14, 2006, Helsinki, Finland, Piscataway, NJ, USA:IEEE:1-5.
- [8] SUN Chunhua, ZHANG Wei, LETAIEF K B. Cooperative spectrum sensing for cognitive radios under bandwidth constraints[C]//Proceedings of Wireless Communications and Networking Conference(WCNC' 07), Mar 11-15, 2007, Kowloon, China. New York, NY, USA: IEEE, 2007:1-5.
- [9] WEISS T, HILLENBRAND J, KROHN A E, et al. Mutual interference in OFDM-based spectrum systems[C]//Proceedings of 59th Vehicular Technology Conference (VTC-Spring' 04):Vol4, May 17-19, 2004, Milan, Italy. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004: 1873-1877.
- [10] ZHENG, Haitao, PENG Chunyi. Collaboration and fairness in opportunistic spectrum access[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC' 05): Vol5, May 16-20, 2005, Seoul, South Korea. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2005: 3132-3136.
- [11] CHANCY T C. Formalizing the interference temperature model[J]. Journal on Wireless Communications and Mobile Computing, 2007, 7(9):1077-1086.
- [12] 武林俊,李燕文.多用户多速率OFDM中的子载波分配和功率控制[J].电子与信息学报, 2007, 29(8):1911-1915.
- [13] HAMDI K, ZHANG Wei, LETAIEF K B. Power control in cognitive radio systems based on spectrum sensing side information [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC' 07), Jun 24-27, 2007, Scotland, UK. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2007: 5161-5165.
- [14] AKYILDIZ I f, LEE Won-Yeol, VURAN M C, et al. Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey[J]. Computer Network, 2006, 50(13): 2127-2159.
- [15] End-to-End Reconfigurability[EB/OL]. <http://e2r2.motlabs.com/>.

收稿日期:2009-01-06

作者简介



苗丹, 北京邮电大学无线新技术研究所在读博士研究生, 研究方向为认知无线网络中的无线资源管理。



陈星, 中国移动通信研究院无线技术研究所项目经理、博士, 主要研究领域为LTE-Advanced相关技术和认知无线电技术。