

# 认知无线通信系统的频谱资源管理

## Spectrum Resource Management of Cognitive Radio

中图分类号: TN92 文献标识码: A 文章编号: 1009-6868 (2009) 02-0025-05

**摘要:** 作为认知无线电(CR)技术核心问题的无线频谱资源管理技术是提高认知无线电性能的关键。通过引入资源空间的概念对认知无线电技术领域中的无线频谱资源管理技术进行说明,形成了无线频谱资源空间、资源网格、可用资源图谱等无线资源管理的数据体系,并且构建了相应的分层分布式管理结构和资源管理数据库。形成的资源描述体系和管理结构可以成为研究认知无线电资源管理技术的理论概念基础和借鉴支持。

**关键词:** 认知无线电; 无线频谱资源管理; 资源空间

**Abstract:** As the core question in the Cognitive Radio (CR) technique field, the wireless spectrum resource management technology has the ability to enhance the CR communication system performance. Here the resource space concept is added to the management technology, and the manage system is submitted with the wireless frequency spectrum resources space, the resources grid, the available resources atlas. Also the corresponding lamination distributional management structure and the resource management database are constructed. The resources description system and the management structure submitted will become the theory concept foundation of the CR spectrum resources management technology.

**Key words:** cognitive radio; wireless spectrum resource management; resource space

刘勤/LIU Qin

(西安电子科技大学 综合业务网国家重点实验室, 陕西 西安 710071)

(State Key Lab of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

为它是解决无线频谱资源低利用率问题的最佳方案,将成为下一波有冲击性的浪潮。

利用认知无线电技术,可使没有频率使用许可的用户在对法定授权用户不产生影响的前提下,来使用已分配的频段,从而更高效地对无线频谱资源加以利用。这种特性使得认知技术成为缓解日益紧张的频谱资源压力的有效方法之一。

认知无线电技术本质上是一种智能的利用频谱资源的方法,它通过感知能力探测并获得可用的频谱资源,对这些资源进行管理和协调,然后分配给无线用户进行优化的使用,从而获得高性能的频谱利用率。因此可以说,认知无线电通信的过程是围绕着对频谱资源的高效管理和利用开展和进行的,对无线频谱资源管理技术的研究是探索认知通信领域中的关键组成和重要分支。在认知环形结构(CC)中,对资源的管理和分配控制是非常关键的一环。只有在良好的管理体系指导下,才能对频谱资源进行最佳的使用。

### 1 无线频谱环境资源的描述

认知无线电技术是对无线频谱资源的利用,因此认知无线电技术领域中接受管理的主体就是无线频谱资源。为了能够对频谱资源形成更高

飞速发展的无线通信系统和网络正面临着一系列的障碍,例如迅速增长的带宽需求(如单一网络的带宽需求从几兆赫兹增加到几百兆赫兹)与高速业务的需求(如单用户从几兆比特每秒增加到几百兆比特每秒)和有限的频谱资源之间存在着固有的矛盾;例如多种制式(如移动通信有3G/E3G/4G)异构的无线网络(无线局域网/移动通信/无线接入)需要良好和谐的共存等等。

如何提高频谱的利用率和保证不同异构无线网络的协同工作,以满足多种业务需求和更好的用户体验已成为无线通信发展的必然趋势和

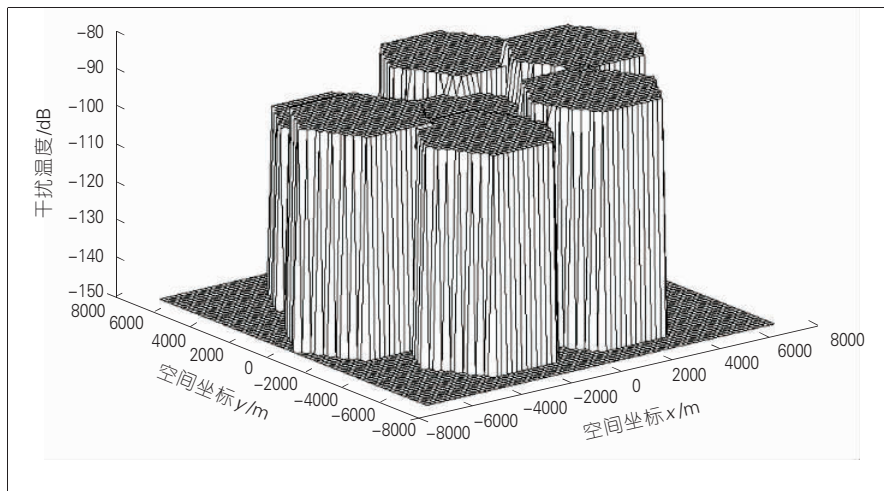
**基金项目:** 国家重点基础研究发展规划(“973”计划)项目(2009CB320404)

主要挑战。

认知无线电技术是应提高频谱利用率而生并被广泛关注的技术。

认知无线电(CR)的概念最早是由Joseph Mitola等在1999年提出的,它是软件无线电技术的演化,是一种新的智能无线通信技术。它可以感知到无线电传输的环境特征,并通过无线电知识描述语言与通信系统进行智能交流,对无线环境分析、理解和判断,自适应地调整系统的通信参数,在不影响授权用户通信的前提下,智能地利用空闲的频谱为认知用户提供随时随地、高可能性的接入,极大地提高了频谱利用率。

认知无线电概念的提出引起了通信界的广泛关注,无线业界普遍认



▲图1 传统MTM-SVD方法获得的干扰温度估计结果

效更优化的利用,首先就需要对其进行透彻的分析,考察它们的特征指标和状态参数,这样才能形成更好的选取关系。

在以往的研究中,针对频谱感知获得的环境特征已经形成了一些描述参数,从而从多个侧面构建了针对资源可用性的衡量标准。

比较典型和传统的方式是以干扰温度作为衡量频谱性质的参量,Simon Haykin在文献[1]中给出了干扰温度的定义以及对它进行估计的方法,并把它作为衡量频谱空洞可用与否的指标。

除此之外还有许多类似方面的文献和研究成果,例如文献[2]提出了一种频谱容量估计的方法,这种方法是考虑带宽和允许的传输功率以及它们之间的内在关系;文献[3]用对自回归系数、动态噪声、测量噪声等分析状态空间模型,并选择合适的信道跟踪策略,从而获取信道状态信息。

然而,这些研究和分析所针对的参数仅仅局限于对无线频谱资源的局部描述,只对无线频谱资源的单一性能特征或者极少的几项性能特征进行刻画。因此,所涉及的资源量无法对无线频谱资源整体特性或者相对比较全面的特性进行描述,从而在认知无线电资源管理中只能依靠局部资源特征针对无线频谱资源

进行分析和管理的,对资源的分配也只能获得片面性能的提升,为资源的管理与选取留下隐患。

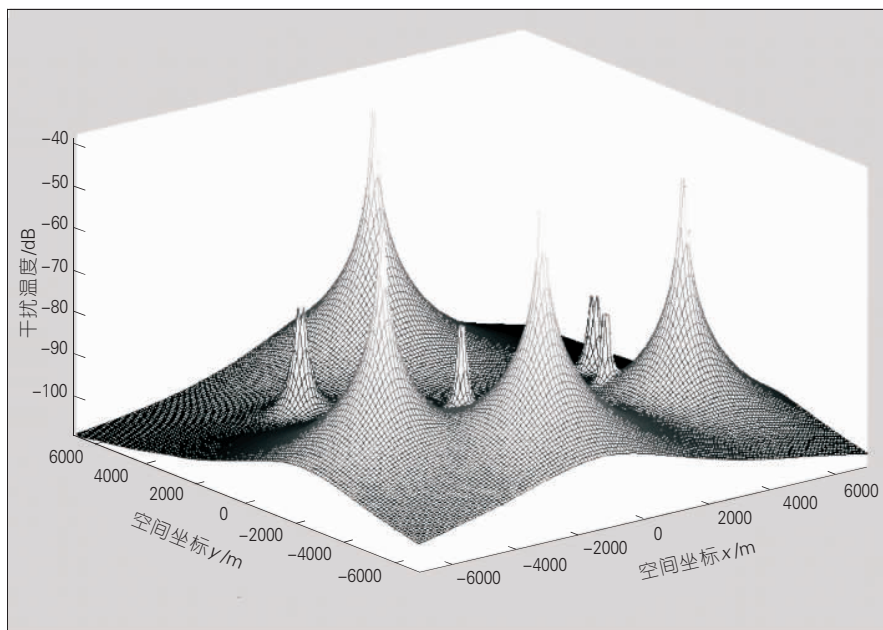
以应用最为广泛的干扰温度为例,系统所考察的对象是某个区域内的干扰温度值,它是一种等同于信号强度或者功率谱密度的概念,仅能够反映频谱环境随时间的变化,可以看作是一种时频关系的体现。同时,如果利用文献[1]所述的多窗谱估计联合奇异值分解(MTM-SVD)方法进行干扰温度估计,那么得到的将会是一个个区域内统一的强度体现,如图

1所示的某个时间点的干扰温度估计结果。

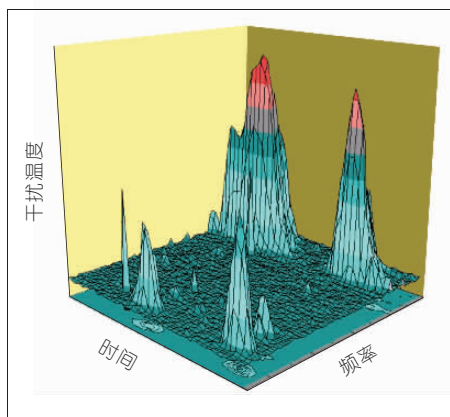
对于频谱资源的再次利用而言,图1中表示的结果在空间位置上被区域统一化,使得判决可利用的资源也在空间上被生硬分割,隐形地丧失了许多可用资源。

如果能够在原有干扰温度的基础上,引入相应的空间位置因素,通过改进估计方法,就能够获得如图2所示的干扰温度估计结果。可以看到,此时平滑的空间变化取代了原来结果中的区域阶跃变化,使得用来评判频谱资源可用与否的干扰温度从时频的特征变为空时频共同作用的特征。

从上面的例子可以看到,增加了空间度量特征的干扰温度与原始干扰温度相比,丰富了资源的描述特征,在原有基础上引入了空间坐标特征,也使得判决可用资源的空间区域更加精确,对资源的再次利用更加高效。基于这种思想,如果能够引入更多的特征因素,让它们共同描述无线频谱资源,那么对于资源管理层面而言,对环境和资源的认识更加客观和完整,就能够更确切地把握无线频谱资源的本质特征,也能够更优化地对



▲图2 引入空域概念的干扰温度估计结果



▲图3 三维资源空间模型

其进行恰当的管理和利用。

## 2 频谱资源空间及其概念体系

获取频谱资源特征之后, 认知无线电应该根据用户要求, 为其通信传输选择合适的运行频段资源。文献[4]在假设所有信道具有相似信道容量前提下, 基于公平性和通信成本提出5种频谱选择规则。文献[5]提出了一种基于SNR的信道跳跃协议用于选择质量最好的信道。文献[6]提出在某一特定频段上的频谱切换数量可以用来辅助频谱分配的决策。这些研究是基于对用户某个或者几个性能需求进行选择资源的。

针对上述的比较完整的包含多种特征参数的无线频谱资源描述, 在进行具体衡量时, 需要设计和构建一种更加完备的结构和方法来决定资源的可利用程度。

为了将上述对无线资源不同角度的多种特征描述进行有机的统一和组合, 可以利用数学上的空间概念来进行表述, 利用多维坐标系来构建无线频谱资源空间的数学模型并加以研究。

从不同角度和不同层面考察无线频谱资源可以获得多种描述资源特征参数, 将这些特征参数作为元素个体, 并对各个元素进行严格的数学定义和明确表征。然后以这些数学表示的特征参数元素为考察量, 并赋予

坐标维度的概念, 那么就构成了多维表示的频谱空间。

资源空间是用数学语言描述的包含众多特征参数元素的科学概念。譬如如果仅考察频谱资源在时间、频率、干扰温度3个特征参数之间的关系, 并分别以它们为参考坐标, 可以形成一个简单的仅具有3个维度的空间模型, 如图3所示。当考察的特征参数有 $n$ 种时, 即可形成 $n$ 维的资源空间表示。

在分析各个特征参数之间的内在关系, 并将它们数学的表示成函数关系时, 频谱资源空间也可以被看作是 $n$ 维函数或函数组。这样设定的函数关系在多个维度上是连续的, 但是在无线资源的管理中, 为了便于记录和衡量, 需要将它们进行离散分割, 例如时间变化将根据采样间隔或者时间分辨率进行离散。那么上述的空间从各个维度都经过离散之后, 就会形成一种网格状结构, 这就可以称为频谱网格。频谱网格是为了构建可管理的基本资源单元, 在空域、时域、频域等多个维度上都对频谱资源空间进行离散化后的结构和表征方法的描述。

在认知无线电系统对无线频谱资源进行管理, 并对具体的认知系统用户分配资源时, 针对用户的不同需求, 资源空间中适合用户的资源也不尽相同, 因此就需要针对不同的用户需求构建特定的可用资源集合。面对

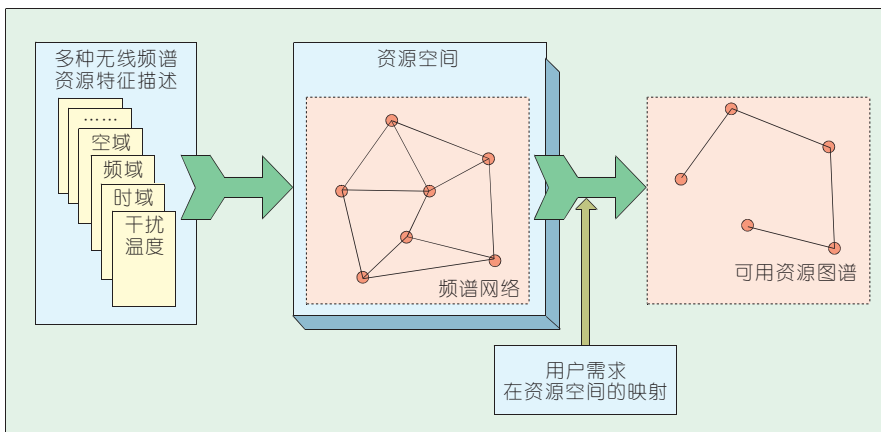
使用空间体系描述的无线频谱资源, 用户的实际需求需要具备和资源空间的映射关系, 才能成为在资源空间中的具体衡量指标。在衡量资源的可用性时, 根据用户需求映射的衡量标准来判断资源网格中各个离散化的资源个体, 从而决定这个频谱资源单元是否可用。那么这些根据用户需求映射标准形成的资源网格中的可用资源集合, 即可被称为资源图谱。

这样, 从频谱资源元素到频谱资源空间, 到频谱资源网格, 到频谱资源图谱, 就能够形成了面向无线资源管理的数据体系结构和理论概念基础, 如图4所示。

## 3 无线频谱资源管理结构

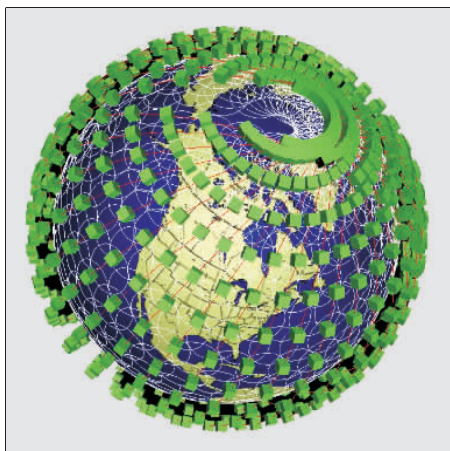
无线资源管理体系包括两个方面, 一是对无线资源的表示, 二是实现资源管理的结构。前者在上述的资源空间中已经说明, 在此将分析管理层面的结构问题。

针对资源管理解决方案的研究也是热点之一。文献[7]提出了一种利用集中单元控制频谱分配和接入过程的方法, 网络中的每个分布式节点都把自己感知的信息汇集到集中控制单元, 并由它进行频谱分配。文献[8]给出了不能构建集中结构时的分布解决方案, 每个分布式节点都参加频谱分配并由节点自己决定频谱接入。合作式频谱共享策略考虑节点的行为对其他节点的影响, 而非合作式

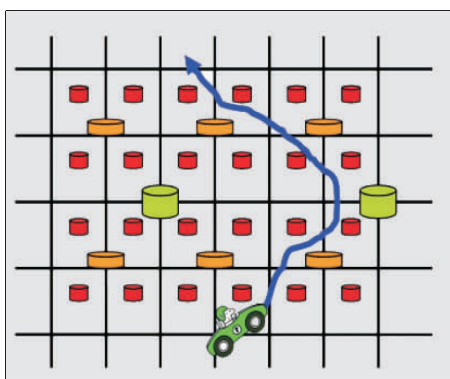


▲图4 面向无线资源管理的数据体系结构





▲图5 频谱网格立体分割



▲图6 分层分布式数据库资源管理示意图

的策略<sup>[9]</sup>仅仅考虑自己节点的行为。Menon 讨论了在合作式的环境下, Overlay 频谱共享和 Underlay 频谱共享方案的效果<sup>[10]</sup>。从实用性和整体的角度上而言, 分布式管理方式具有较多的优势, 将它与前述的资源空间体系结合, 即形成如下的管理结构。

在认知无线电通信系统中, 使用无线频谱资源的设备可以分布在地面上, 也可以在空中, 也可以在地下。当任一用户处于任一空间位置时, 它认知到的频谱资源的使用情况是不一样的。它可能感知到地面设备发射的信号, 也可以感知到空中飞行器发射的信号, 也可以感知到卫星或深空探测器发射的信号。由于不同地点的发射设备的功率、天线的方向性、带宽、运动特性、动态行为可能各不相同。为了进行有效的管理, 需将所有可能使用无线频谱资源按照物理空

间和网络覆盖进行分割, 形成频谱管理的网格, 即如图5所示的围绕地球的一层分割点。

为了对频谱资源空间进行管理, 以及对管理网格进行必要的维护更新, 可分层分级设置传感器。可以独立的设置传感器网格, 也可以与应用系统共址设置。

分层分布式数据库是进行资源管理的有效途径, 将上述的资源管理网格及其对应的可用资源图谱等数据进行分层, 分别存储在不同层次的数据库中, 最低层的数据库可以管理若干个资源单元, 第  $n$  层的数据库管理若干个第  $n-1$  层的数据库。当一个用户在运动或者变化过程中需要穿越不同层次的资源管理网格时, 由多个层次的数据库联合为其服务, 如图6所示。

数据库的方式是进行资源管理的有效途径, 利用成熟的数据库管理技术, 可以将上述的资源管理网格和可用资源图谱等数据有效存储和管理, 也可以指导进行信息的更新和索引。根据用户的类型, 与资源数据库的交流方式可以不同。可以利用现有的公众移动通信网络的数据业务或 Internet 网络, 访问资源数据库; 也可以利用公共资源控制信道提供资源服务。

在数据库的信息交流中, 公共控制信道可以作为比较适合的通信途径。非授权用户可以通过该信道获取资源信息。公共资源控制信道根据服

务的用户类型、用户数量、业务类别等优化配置。

在认知环境中, 公共控制信道无法成为固定频率的信道, 它应该也是属于非授权使用者之一, 随外界环境的变化而发生变化。这样在公共控制信道两端的信息交流点需要考虑如何进行频点的协同约定。实现的方法可以借鉴循环定位、循环不定位、循环分散定位、表明信道的循环不定位等动态信道分配算法。

频谱资源管理的数据库将包含了若干个子库, 如图7所示。数据库通过对资源空间的感知信息的分析处理, 对频谱的使用状况做出详实描述, 根据非授权用户的需求, 形成资源图谱。各个子库之间可以产生如下关系: 频谱原始使用状态子库为原始频谱统计子库提供服务, 频谱整体使用状态子库为整体频谱统计子库提供服务, 而空洞分析子库、空洞等级标示子库、功率梯度子库等子库以及原始频谱统计子库和整体频谱统计子库都是为管理中心服务的。

## 4 结束语

认知无线电技术是为了解决频谱资源匮乏问题而提出的, 其核心思想就是对无线频谱资源的深度利用, 因此可以说, 认知无线电技术就是围绕无线频谱资源的管理与利用而开展的。

良好的管理结构与方案能够带来整个系统的性能提升。随着认知无

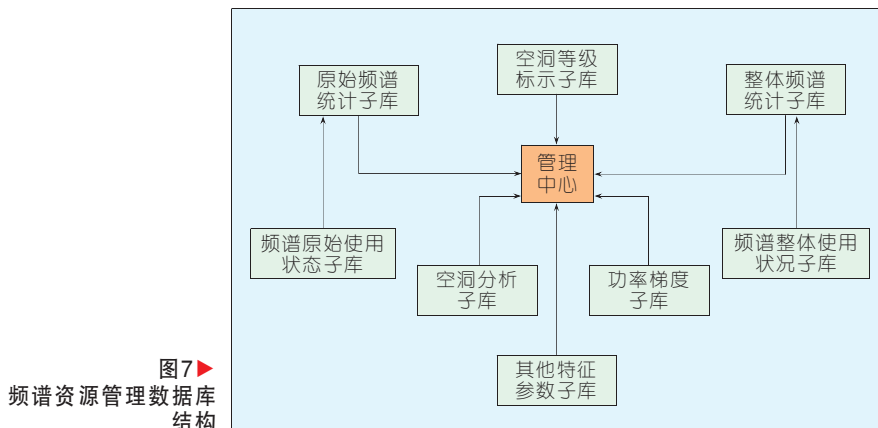


图7  
频谱资源管理数据库结构

线电技术的发展与逐步应用,资源管理技术的重要性也愈发突出,因而对其进行研究与讨论有很重要的意义。上述的几点内容是笔者在对认知通信技术研究过程中发现的问题,一方面这些想法还处于初步阶段,需要更深入的研究丰富,另一方面以上几点仅仅是认知科学研究的一个侧面,对于资源管理领域的研究需要更多的内容支撑。

## 5 参考文献

- [1] HAYKIN S. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(2):201-220.
- [2] WILD B, RAMCHANDRAN K. Detecting primary receivers for cognitive radio applications[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: 124-130.
- [3] HAYKIN S, HUBER K, CHEN Z. Bayesian sequential state estimation for MIMO wireless communications[C]//Proceedings of the IEEE, 2004, 92(3):439-454.
- [4] ZHENG H, CAO L. Device-centric spectrum management[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: 56-65.
- [5] KANODIA V, SABHARWAL A, KNIGHTLY E. MOAR: a multichannel opportunistic autorate media access protocol for Ad hoc networks [C]//Proceedings of IEEE First International Conference on Broadband Networks (BROADNETS'04), Oct 25-29, 2004, Washington, DC, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004:600-610.
- [6] KRISHNAMURTHY S, THOPPIAN M, VENKATESAN S, et al. Control channel based MAC-layer configuration, routing and situation awareness for cognitive radio networks[C]//Proceedings of IEEE Military Communications Conference (Milcom' 05), Oct 17-20, 2005, Atlantic, NJ, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2005: 455-460.
- [7] BRIK V, ROZNER E, BANARJEE S, et al. DSAP: a protocol for coordinated spectrum access[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: 611-614.
- [8] ZHAO J, ZHENG H, YANG G. Distributed coordination in dynamic spectrum allocation networks[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: 259-268.
- [9] ZHAO Q, TONG L, SWAMI A. Decentralized cognitive MAC for dynamic spectrum access [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: 224-232.
- [10] MENON R, BUEHRER R M, Reed J H. Outage probability based comparison of underlay and overlay spectrum sharing techniques[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: 101-109.

收稿日期: 2009-01-04

### 作者简介



刘勤, 西安电子科技大学信息科学研究所综合业务网国家重点实验室副教授、博士, 主要研究领域为认知无线电、软件无线电、移动通信等。先后主持和参加了7项基金项目, 已发表论文10余篇, 相关专利7项。

### ← 上接第24页

- 29(7): 1608-1611.
- [14] CAO LILI, ZHENG HAITAO. Distributed spectrum allocation via local bargaining[C]// Proceedings of the 2nd IEEE International Conference of Sensor and Ad Hoc Communications and Networks(SECON' 05), Sep 26-29, 2005, Santa Clara, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2005: 475-486.
- [15] ZHENG H, CAO L. Device-centric spectrum management[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: 56-65.
- [16] NIE NIE, COMANICIU C. Adaptive channel allocation spectrum etiquette for cognitive radio networks[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: 269-278.
- [17] HAN ZHU, PANDANA CHARLES, K J RAY LIU. Distributive opportunistic spectrum access for cognitive radio using correlated equilibrium and no-regret learning[C]// Proceedings of Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'07), Mar 11-15, 2007, Kowloon, China. New York, NY, USA: IEEE, 2007: 11-15.
- [18] ZHU JI, LIU K J R. Belief-assisted pricing for dynamic spectrum allocation in wireless networks with selfish users[C]//Proceedings of the 3rd IEEE International Conference of Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON' 06), Sep 25-29, 2006, Reston, VA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006: 119-127.
- [19] TIAN FENG, YANG ZHEN. A new algorithm for weighted proportional fairness based spectrum allocation of cognitive radios[C]//Proceedings of International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing (SNPD' 07): Vol 1, Jul 30-Aug 1, 2007, Qingdao, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 531-536.
- [20] 程世伦, 杨震. 一种新型认知无线电资源分配跨层技术[J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2008, 28(2): 1-5.
- [21] CHENG GENG, LIU WEI, LI YUNZHAO, et al. Joint on-demand routing and spectrum assignment in cognitive radio networks[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC' 07), Jun 24-27, 2007, Scotland, UK. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 6499-6503.
- [22] WANG QIWEI, ZHENG HAITAO. Route and spectrum selection in dynamic spectrum networks[C]//Proceedings of 3rd IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CNCC' 06), Jan 8-10, 2006, Las Vegas, NV, USA. IEEE, 2006: 625-629.

收稿日期: 2009-01-13

### 作者简介



曾志民, 博士, 北京邮电大学信息与通信工程学院教授、学术委员会委员, 中国通信学会、电子学会高级会员。长期从事通信与信息系统方面的科研与教学工作, 主要研究方向为无线通信理论与技术、宽带网络与无线传感器网络。



郭彩丽, 博士, 北京邮电大学信息与通信工程学院讲师。主要研究方向为未来无线移动通信新技术、认知无线电关键技术。