

认知异构网络中基于非理想频谱感知的凸优化资源分配算法

禹谢华

(福建师范大学闽南科技学院,泉州 362332;厦门大学信息科学与技术学院,厦门 361005)

摘要 当前认知异构网络中无线频谱日益紧缺,而传统固定频谱分配模式日益成为限制无线通信性能的重要瓶颈,在非理想频谱感知情况下资源分配的问题尤为突出。为实现非理想频谱感知情况下无线资源的高效分配,提出一种基于认知异构网络的凸优化资源分配算法。该算法首先构建了基于主用户活跃度的用户到达模型,以精确描述认知网络中主用户的频谱使用状态,为认知用户分配资源提供依据;并通过认知异构网络干扰分析构建非理想频谱感知条件下的干扰容限条件,最后通过凸优化算法实现对认知网络中频谱资源的优化分配。仿真结果表明,在非理想频谱感知条件下,该算法能够有效降低系统平均时延,提升认知异构网络的传输速率和系统吞吐量。

关键词 频谱感知 异构 凸优化 资源分配
中图分类号 TN929.5; **文献标志码** A

随着无线通信技术的不断演进和发展,3G、4G、5G、无线传感器网络、WiFi 等越来越多的无线接入技术可供用户选择。各种无线接入技术从接入方式、覆盖范围、传输速率都各具特点,且具有各自不同的应用场景。因此,现阶段的无线通信系统往往需要同时兼容多种无线接入技术,被称为异构无线网络(heterogeneous wireless networks, HWNs),以实现不同无线通信接入间的相互补充。一方面,异构无线网络结构日益复杂,用户对无线传输速率、带宽、时延等指标的要求不断提高,但随着无线用户的数量不断增多,对服务质量的要求越来越高;另一方面,无线频谱资源日益紧缺,而传统的固定频谱分配方法无法实现有效复用,已经成为限制异构无线网络通信性能的一个重要瓶颈。针对上述问题,认知无线电技术(cognitive radio, CR)从频谱感知和复用的角度提供了新的解决方案^[1]。

CR 被认为是目前提高频谱利用率的有效选择之一。认知用户通过感知当前的频谱环境,动态的

调整通信参数,然后通过机会接入和使用当前未被主用户占用的授权给的信道频率进行通信^[2]。认知无线网络通过接入未被主用户使用的频带来为认知用户提供可靠的通信,在对主用户使用频带不造成影响的前提下满足认知用户的服务质量需求。在文献[3]中,提出了一种基于异构无线认知网络的优化资源分配方法,假设认知节点具有通过将数据分割同时与多个 RAT 通信的能力,通过设置分流比以及分配源节点的功率实现最小化端到端通信时延的目标。文献[4]中提出了在认知异构网络环境下,在功率一定的条件下,采用频谱资源和功率资源的联合分配方法来提高信道容量。文献[5]针对 OFDM 的认知无线网络环境,首先进行子信道分配以粗略的满足异构用户的需求,从而去除优化问题的难以处理的整数问题,然后对于 OFDM 子系统,进行功率分配。在研究异构网络中的带宽资源分配时,多数使用的方法是通过博弈论来对问题进行建模,进而通过相关方法进行求解^[6,7]。其思想是将无线接入技术网络中的用户建模为博弈中的参与者,利用博弈中参与者之间的博弈平衡为用户分配带宽。

当前,非理想频谱感知条件下认知异构网络的资源分配问题已成为无线通信领域一个重要的研究方向。然而,上述方法大多假定无线频谱能够被理想感知,没有考虑非理想频谱感知情况对资源分配的影响。同时,传统的网络业务模型没有考虑到实际网络中主用户在某时间间隔内到达概率可能变化,会改变数据传输的时间和速率,从而影响资源分

2016 年 10 月 17 日收到 福建师范大学闽南科技学院教学改革项目(JG2014002)和福建师范大学闽南科技学院本科教学工程培育项目(PYXM-2015-01)资助
作者简介:禹谢华(1982—),男,汉族,湖南邵东人,硕士,副教授,工程师。研究方向:人工智能、无线传感器网络、信息与网络安全。
引用格式:禹谢华. 认知异构网络中基于非理想频谱感知的凸优化资源分配算法[J]. 科学技术与工程,2017,17(14): 213—218
Yu Xiehua. Convex optimization resource allocation algorithm in Cognitive Heterogeneous Networks under imperfect spectrum sensing[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(14): 213—218

配的性能和效果。在实际应用中,无线网络与信道动态变化,硬件感知设备也存在局限性,同时感知时间和网络连通性等方面的诸多限制,都会影响信道感知的准确率,使得认知异构网往往处于非理想频谱感知状态。非理想频谱感知往往使得认知用户难以准确获知主用户的信道使用情况,造成对主用户的漏检或者虚警。受无线频谱开放性特征的影响,如何实现非理想频谱感知条件下频谱资源的动态管理是值得研究的难点问题^[8]。

基于此,提出了一种基于非理想频谱感知的认知异构网络资源分配算法。该算法从两方面进行了改进:第一,考虑了认知用户频谱感知的非理想性,基于干扰分析引入了非理想频谱感知条件下干扰容限的限制条件,保证资源分配算法的实效性。第二,提出了基于主用户活跃度的主用户到达模型,以精确地刻画主用户的信道占用情况,为认知用户分配资源提供更精确的理论依据,并通过凸优化算法实现对认知网络中频谱资源的优化分配。

1 认知异构网络的系统模型及非理想频谱感知下干扰分析

1.1 认知异构网络系统模型

认知异构无线网络中一般并存着多个认知无线网络,所有无线接入网络均同意将其未使用的空闲授权频谱共享给覆盖范围内的感知用户,而无线接入网络的基站则负责在小区范围内进行集中式的频谱分配。由于认知用户的频谱感知受其在小区中的地理位置、信号干扰、频谱使用条件或其他环境因素所影响,使得所有主用户和感知用户都需要在所分配的频谱上自适应地调整数据传输速率。考虑到实际区域划分所产生的尺度衰落,仅考虑同一小区内邻近用户的同频干扰^[9]。

如图1所示,BS (base station) 表示各网络中的基站; PU (prime user) 表示各网络中的主用户, $PU = [PU_1, PU_2, \dots, PU_n]$ 包含 n 个主用户; SU (secondary user) 表示可以接入到各主用户所在网络中的认知用户, $SU = [SU_1, SU_2, \dots, SU_m]$ 包含 m 个认知用户; RAT (radio access technology) 表示无线接入技术,不同的网络采用各不相同的接入技术。假设认知异构网已经融合, SU 被允许接入到所有的 RAT 中,因此 SU 可以在端到端的通信过程中,能够接入多个拥有空闲频谱资源的异构网络。

当 SU_i 与 SU_j 进行端到端通信时,由于 PU 发起通信请求的概率不同,在不同的 RAT 中, SU 被中断的概率也就不同。面对 SU 总功率有限,各 RAT 带宽有限等多重限制条件下,需要根据 PU 发起通信请

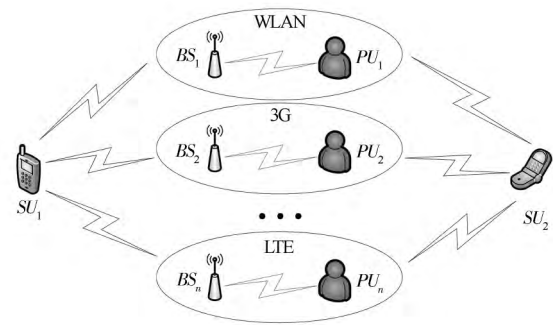


图1 认知异构网系统模型

Fig. 1 System model of cognitive heterogeneous network

求的概率和待传输的数据量,确定分配其在各 RAT 上资源分配(包括带宽和功率)传,从而使得通信的时间最短,即等效的信道容量最大。

认知异构无线网络一般采用集中式架构,各个认知用户监测频带中主用户的信道占用情况,并将实时监测结果发送到基站,基站则向小区内的认知用户广播主用户的信道占用状态。当监测结束时,则生成主用户活跃度矩阵用来描述主用户当前的活动状态。

1.2 非理想频谱感知情况下的干扰分析

在实际应用中,无线网络与信道动态变化,硬件感知设备也存在局限性,同时感知时间和网络连通性等方面的诸多限制,都会影响信道感知的准确率。这些问题使得认知用户难以准确获知主用户的信道使用情况,造成对主用户的漏检或者虚警^[10]。当认知用户没有检测到主用户实际占用信道而进行通信时,将对主用户造成干扰;当认知用户没有检测到主用户实际为占用信道时,将会造成系统资源的浪费。因此,需要基于主用户活跃度的系统模型,对认知用户对主用户的干扰进行分析,确保在非理想频谱感知条件下认知用户对主用户的干扰依然在其干扰容限以内。

假设主用户 PU_j 占用 RAT_j 时,认知用户 SU_i 也在占用 RAT_j ,则后者对主用户的干扰 I_{ij} 为

$$I_{ij} = P_{ij}g_{ij} \quad (1)$$

式(1)中, P_{ij} 是认知用户 i 被允许占用 RAT_j 的功率, g_{ij} 是由认知用户 i 获得的信道增益。令 σ_{ij} 表示认知用户对主用户占用信道的漏检概率,则认知用户 i 与主用户 j 间的平均干扰为

$$\bar{I}_{ij} = \sigma_{ij}P_{ij}g_{ij} \quad (2)$$

系统的优化目标仍为最小化系统的通信时延:

$$\min \sum_{i=1}^m t_i = \min \sum_{i=1}^m (\max_j t_{ij}) \quad (3)$$

式(3)中, t_i 表示通过多个 RAT 传输数据 V_i 所需的时间总长度, t_{ij} 表示 SU_i 通过 RAT_j 发送数据的时间。

约束条件中除原来的对带宽、功率和数据的限制外, 还加入了认知用户对主用户的干扰需低于主用户的干扰容限阈值的限制条件:

$$\sum_{i=1}^m \bar{I}_{ij} \leq I_j \quad (4)$$

式(4)中, I_j 表示主用户 PU_j 的干扰容限。由此, 通过引入非理想频谱感知条件下关于干扰控制的约束条件, 能够有效克服漏检和虚警的问题, 并使得认知网络的通信性能得到有效保障和提升。

2 认知异构网络中基于非理想频谱感知的凸优化资源分配算法

由于在认知异构网络中, 主用户的到达概率会直接影响认知用户的频谱感知结果, 进而决定认知用户的频段分配和使用。为兼顾频谱利用率和干扰控制, 提出了基于主用户活跃度的用户到达模型为非理想频谱感知下的认知异构网络建模, 从而最终实现对系统的功率资源和带宽资源的有效分配。

2.1 基于主用户活跃度的主用户到达模型

在认知异构网络中, 主用户对频带的占用对认知用户的分配系统资源有着明显的影响。认知用户需要智能地判断授权频谱内是否有主用户在使用, 从而避免对主用户的干扰。对主用户活动的更准确的建模和估计可以使认知用户对资源的利用更有效。对于主用户活动的模型, 现在已有泊松模型、生灭模型等。但是泊松过程和生灭过程并没有考虑到无线网络数据转发的突发性, 这两种模型考虑的都是光滑且无突发事件的主用户活动, 短期内的业务波动往往被忽略掉^[11, 12]。

考虑到认知用户对主用户信道的感知的非理想性, 为减少认知用户占用信道对主用户造成的干扰, 本文提出了基于用户活跃度的主用户到达模型。主用户活跃度模型跳出了泊松模型的思路, 采用主用户活跃度矩阵 M 来对主用户最近时间段的行为进行描述, 能够及时捕捉主用户信道占用的波动, 以克服传统模型的种种不足。

定义 1 (用户活跃度) 在认知网络中, 认知用户检测频段并且将监测主用户活动的结果发送到基站, 由基站向各认知用户广播主用户的监测状态。当监测结束时, 计算出主用户活跃度以描述该主用户的信道使用状态。

主用户活跃度矩阵 $M \in R^{m \times n}$ 描述了在不同时刻不同频带上主用户的信道占用状态, 而认知用户可以使用信道的时间与主用户活跃度矩阵密切相

关。根据定义 1 将主用户活跃度矩阵中的元素 M_{ij} 表示为

$$M_{ij} = (r_i - r_{i-1}) \left| \frac{1}{2} \sum_{k=1}^3 \left[\frac{x(k) - E(X^i)}{\sigma(X^i)} \times \frac{r_{i+1-k} - E(r^i)}{\sigma(r^i)} \right] \right| \quad (5)$$

式(5)中, $\forall i \in [1, 2, \dots, p]$, p 是主用户活跃度矩阵取的样本总数, j 表示第 j 个频段, r_i 表示主用户活跃度矩阵在第 i 次采样的结果, X^i , r^i 分布表示长度为 3 的矩阵向量, $E(\cdot)$ 是指取均值, σ 表示标准差。 $r_i - r_{i-1}$ 项用于捕捉主用户活动的波动, $\sum_{k=1}^3 \left[\frac{x(k) - E(X^i)}{\sigma(X^i)} \frac{r_{i+1-k} - E(r^i)}{\sigma(r^i)} \right]$ 项用于描述前些时刻里主用户活动的相关影响。

需要指出的是, 如果前些时刻的样本太少, 则得到的信息不足以准确的描述; 若取样本太多, 则不能够准确的捕捉到主用户活动的波动。根据实际试验发现, 最后时刻的 3 个样本具有高度的相关性和相似性, 能够准确描述被监测的主用户当前的信道使用状态。因此, 一般取最后 3 个时刻的样本对主用户活动进行描述。

进一步地, 假设在认知网络中认知用户传输数据的时间比信道空闲时间短, 那么当主用户没有被检测到时, 认知用户最大传输时间与主用户信道最大空闲时间相等, 即:

$$T_{\max} = \frac{1}{M_{ij}} \quad (6)$$

主用户活跃度矩阵的平均值就是主用户到达率的平均值。因此, 信道空闲时间的均值是与活跃度矩阵均值的倒数相等的。

2.2 凸优化资源分配算法

基于非理想频谱感知的条件, 算法的主要流程如图 2 所示, 其基本思路是: 在基于用户活跃度的主用户到达模型的基础上, 充分考虑非理想频谱感知的影响, 在资源分配算法中加入了认知用户干扰需低于主用户干扰容限的限制条件, 并采用凸优化方法对认知异构网络的频谱资源进行优化分配。

系统的优化目标为最小化系统的通信时延, 提升传输速率。通信时延是认知用户使用主用户所在网络传输数据时, 通过各主用户所在网络传输数据的时延的最大值, 即:

$$\min \sum_{i=1}^m t_i = \min \sum_{i=1}^m (\max_j t_{ij}) \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m B_{ij} \leq B_j \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} \leq P_i \quad (9)$$

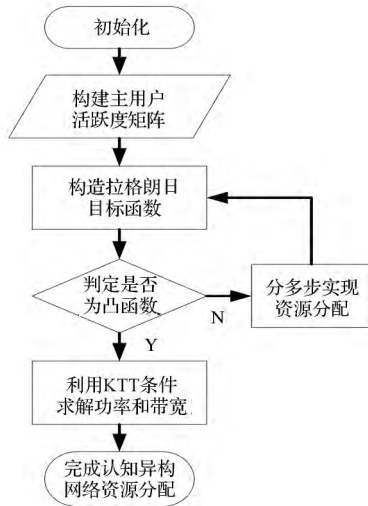


图 2 认知异构网络基于凸优化资源分配算法流程图

Fig. 2 The flow chart of resource allocation algorithm based on convex optimization

$$\sum_{i=1}^m \bar{I}_{ij} \leq I_j \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n V_{ij} = V_i \quad (11)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, n$ $j = 1, 2, \dots, m$ 。式(8)~式(11)表示相应的约束条件,即主用户可分配给认知用户的带宽必须小于网络总带宽,认知用户可分配的无线发送功率必须小于其总功率。此外,根据1.2节中关于非理想频谱感知条件的干扰分析,增加了非理想频谱感知条件下的各路认知用户干扰之和小于主用户干扰容限[如式(10)所示],传输的数据之和等于总的的数据量,各参量均不小于0。

令 C_{ij} 表示 SU_i 接入到 RAT_j 的信道容量 D_{ij} 表示 SU_i 与其他 SU 通信时,由于 PU_j 发出通信请求带来的时延。令 λ_{ij} 表示 SU_i 接入到 RAT_j 的信道带宽利用率, N_0 表示噪声功率谱密度,则可以根据香农公式计算每条信道容量 C_{ij} 为

$$C_{ij} = \lambda_{ij} B_{ij} \lg \left(1 + \frac{P_{ij}}{N_0 B_{ij}} \right) \quad (12)$$

由于 $t_{ij} = V_{ij}/C_{ij} + D_{ij}$ 根据主用户活跃度的用户到达模型计算时延,将目标函数 $t_{ij} = V_{ij}/\lambda_{ij} B_{ij} \lg \left(1 + \frac{P_{ij}}{N_0 B_{ij}} \right) + D_{ij}$ 简化为关于带宽 B 、功率 P 以及数据量 V 的目标函数 $f(B, D, P)$,并定义拉格朗日函数:

$$L(B_{ij}, P_{ij}, \mu_j, \varphi_i) = \frac{V_{ij}}{\lambda_{ij} B_{ij} \lg \left(1 + \frac{P_{ij}}{N_0 B_{ij}} \right)} + D_{ij} +$$

$$\sum_{j=1}^n \mu_j \left(\sum_{i=1}^m B_{ij} - B_i \right) + \sum_{i=1}^m \varphi_i \left(\sum_{j=1}^n P_{ij} - P_i \right) + \sum_{i=1}^m \gamma_i \left(\sum_{j=1}^n V_{ij} - V_i \right) \quad (13)$$

主用户活跃度模型相比泊松模型,对系统的吞吐量方面的性能有明显的改善和提高。根据主用户活跃度矩阵 M 可以计算主用户使用信道的时间为 $1/E(1 - M_{ij})$,信道空闲的时间即认知用户可以使用信道的时间为 $1/E(M_{ij})$,因此在认知用户传输数据的时间内主用户引起的时延:

$$D_{ij} = \frac{V_{ij}}{1/E(M_{ij}) C_{ij}} \frac{1}{E(1 - M_{ij})} = \frac{V_{ij}}{C_{ij}} \frac{E(M_{ij})}{E(1 - M_{ij})} \quad (14)$$

根据2.1节的分析,基于主用户活跃度的用户到达模型中,加入主用户干扰容限的限制条件后,其拉格朗日函数形式变化为

$$L(B_{ij}, P_{ij}, \mu_j, \varphi_i) = \frac{\tilde{V}_{ij} [1 + E(M_{ij})/E(1 - M_{ij})]}{\lambda_{ij} B_{ij} \lg \left(1 + \frac{P_{ij}}{N_0 B_{ij}} \right)} + \sum_{j=1}^n \mu_j \left(\sum_{i=1}^m B_{ij} - B_i \right) + \sum_{i=1}^m \varphi_i \left(\sum_{j=1}^n P_{ij} - P_i \right) + \sum_{i=1}^m \gamma_i \left(\sum_{j=1}^n \sigma_{ij} P_{ij} g_{ij} - I_i \right) \quad (15)$$

对式(15)关于 B_{ij} 、 P_{ij} 分别求导:

$$\nabla L(B_{ij}) = \gamma_1(B_{ij}, P_{ij}) = 0 \quad (16)$$

$$\nabla L(P_{ij}) = \gamma_2(B_{ij}, P_{ij}) = 0 \quad (17)$$

根据KKT条件,可采用牛顿迭代法对非线性方程组求解 B_{ij}^* 和 P_{ij}^* ,逐步迭代更新 μ_j^k 和 φ_j^k :

$$\mu_j^{k+1} = \mu_j^k + \xi \frac{\partial L(\mu_j^k, \varphi_i^k)}{\partial \mu_j^k} = \left[\mu_j^k + \xi \left(\sum_{j=1}^n P_{ij} - P_i \right) \right]^+ \quad (18)$$

$$\varphi_j^{k+1} = \varphi_j^k + \eta \frac{\partial L(\mu_j^k, \varphi_i^k)}{\partial \varphi_j^k} = \left[\varphi_j^k + \eta \left(\sum_{i=1}^m B_{ij} - B_i \right) \right]^+ \quad (19)$$

式中, $\xi, \eta > 0$ 表示步长,最终得到带宽分配的解 B_{ij}^* ,以及功率分配的解 P_{ij}^* 。

3 仿真与分析

为验证算法有效性,在Matlab 2012中进行仿真实验,将本文算法与传统的KG算法^[12]、文献[13]中SPG算法进行比较分析。首先设置仿真场景,假设每个小区的可用信道已被认知用户通过频率感知获得,且同一小区内认知节点的漏检概率分别设

为 0.08 和 0.06。设定小区半径 $R = 1$ km, 覆盖 1 个主用户和 10 个认知用户, 主用户靠近基站, 认知用户随机分布。设置信道数 $k = 16$, 带宽为 50 kHz, 噪声功率谱密度 $\sigma^2 = -174$ dBm/Hz, 链路功率增益根据公式 $g_i = A/r_i^\alpha$ 计算, 其中 r_i 表示认知用户 i 到基站的距离, A, α 均为常数。

如图 3 所示, 当主用户干扰阈值 $I_{th} = -150$ dBW、漏检概率 ρ 从 0.01 逐步上升到 0.08 时, 由于完全精确感知网络中主用户的频谱使用情况, 使得认知用户与主用户发生通信冲突的概率增加, 进而造成系统平均传输时延逐步上升。相比 KG 算法和 SPG 算法, 本文算法造成的系统时延递增更加平缓。因为该算法的主用户到达模型能够较为精准描述网络中当前主用户的频谱使用状态, 并在资源分配时考虑了主用户干扰的限制, 大大减小了通信冲突的可能性, 从而能够将系统时延控制较小范围内。

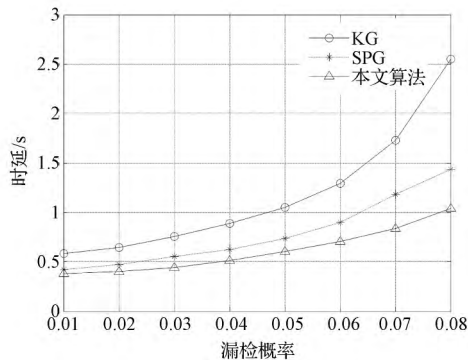


图 3 非理想频谱感知下的系统平均时延

Fig. 3 System average time delay under imperfect sense

在非复用场景下, 各个授权小区分配相同的系统频段, 且每个空闲信道至多被一个次用户占用。为比较 3 种算法在系统吞吐量方面的性能表现, 定义吞吐量比值为系统复用吞吐量/系统非复用吞吐量, 该比值表示相比非复用场景系统吞吐量的倍数, 吞吐量比值越大, 说明传输性能越好。

图 4 给出当主用户干扰阈值 $I_{th} = -150$ dBW、漏检概率 $\rho = 0.08$ 时, 在允许接入不同数目的可认知用户(或认知链路)条件下系统的吞吐量比值曲线。从图 4 中可看出, 随着共享信道可接入认知链路数的增多, 吞吐量比值逐渐提高, 意味着在多小区复用场景下, 认知系统的传输性能得到提升。相比 KG 算法和 SPG 算法, 基于主用户活跃度的非理想频谱感知的资源分配算法在复用场景下系统吞吐量对于不同接入链路数均取得一定提升, 其提升量为 12.6% ~ 25.1%。因为在同一可接入认知链路数下, 随着每个认知用户可用功率的增大, 次用户在每

个共享信道上可分的功率增多, 系统吞吐量比值也随之增大。

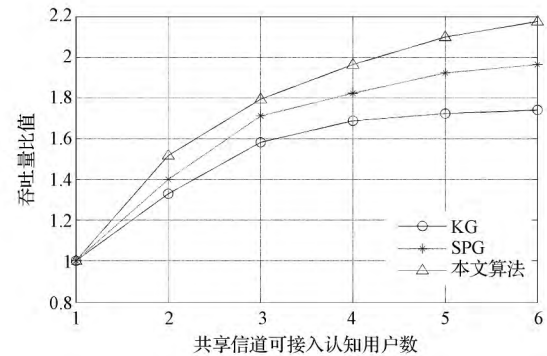


图 4 可接入认知用户数量影响下的吞吐量比值

Fig. 4 Throughput ratio under different cognitive users

4 小结

针对非理想频谱感知情况下认知异构网络中的资源分配问题, 提出了基于用户活跃度的主用户到达模型, 以准确刻画认知网络中主用户的频谱使用情况, 为认知用户分配资源提供更准确依据。在此基础上, 通过认知异构网络干扰分析构建非理想频谱感知条件下的干扰容限条件, 并提出了一种凸优化的资源分配算法。在目标函数的约束条件中, 加入对认知用户的功率约束, 以保证非理想频谱感知条件下的干扰控制, 实现对无线频谱的优化分配。经仿真和分析发现, 该算法能够克服非理想频谱感知的限制, 对无线频谱资源进行有效划分, 并在减小传输时延的同时, 有效地提升系统的吞吐量。

参 考 文 献

- 1 Ma Bin, Xie Xianzhong, Liao Xiaofeng. An efficient proactive spectrum handover mechanism in cognitive radio networks. *Wireless Personal Communications*, 2014; 79(3): 1679—1701
- 2 Haykin S. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2005; 23(2): 201—220
- 3 Chen F, Xu W, Lin J. End-to-end utility-based resource allocation for multi-RAT nodes in heterogeneous cognitive wireless networks. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, 2013; 20(2): 19—24
- 4 Choi Y, Kim H, Han S, et al. Joint resource allocation for parallel multi-radio access in heterogeneous wireless networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2010; 9(11): 3324—3329
- 5 Wang S, Zhou Z, Ge M, et al. Resource allocation for heterogeneous cognitive radio networks with imperfect spectrum sensing. *Selected Areas in Communications*, 2013; 31(3): 464—475
- 6 张珂. 异构 IP 无线网络中的网络选择与资源分配算法研究.

- 北京: 北京邮电大学, 2012
- Zhang Ke. Research on network selection and resource allocation in heterogeneous wireless networks. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2012
- 7 Sundar R S, Kumar S N. Performance improvement of heterogeneous wireless networks using modified newton method. International Journal of Software Engineering & Applications (IJSEA), 2012; 3(3): 79—90
- 8 马彬, 方源, 谢显中. 一种主用户随机到达情况下改进的循环平稳特征检测算法. 电子与信息学报, 2015; 37(7): 1531—1537
- Ma Bin, Fang Yuan, Xie Xianzhong. Improved cyclostationary spectrum sensing scheme for primary users randomly arriving. Journal of Electronics & Information Technology, 2015; 37(7): 1531—1537
- 9 Quan Y H, Zhang L, Xing M D, *et al.* Velocity ambiguity resolving for moving target indication by compressed sensing. Electronics Letters, 2011; 47(22): 1249—1251
- 10 Liu K, Zhao Q, Krishnamachari B. Dynamic multichannel access with imperfect channel state detection. IEEE Trans Signal Process, 2010; 58(5): 2795—2808
- 11 Vizziello A, Akyildiz I F, Augsti R *et al.* Cognitive radio resource management exploiting heterogeneous primary users. 2011 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011). New York: IEEE, 2011: 1—5
- 12 Canberk B, Akyildiz I F, Oktug S. Primary user activity modeling using first-difference filter clustering and correlation in cognitive radio networks. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2011; 19(1): 170—183
- 13 Gitlin R, Magee J. Self-orthogonalizing adaptive equalization algorithms. IEEE Trans on Communications, 1997; 25(7): 666—672

Convex Optimization Resource Allocation Algorithm in Cognitive Heterogeneous Networks under Imperfect Spectrum Sensing

YU Xie-hua

(Minnan Science and Technology Institute, Fujian Normal University, Quanzhou 362332, P. R. China;

School of Information Science and Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, P. R. China)

[Abstract] The cognitive radio spectrum in heterogeneous networks become increasingly scarce, and the traditional fixed spectrum allocation model has become an important bottleneck of wireless communication. The problem of the allocation of resources under imperfect spectrum sensing is particularly prominent. To realize efficient allocation of wireless resources under imperfect spectrum sensing, our paper presents a convex optimization resource allocation algorithm in Cognitive Heterogeneous Networks. Firstly, it constructs the arriving model based on the primary users activity, and accurately describes the spectrum usage of primary users, provides a basis for cognitive users to allocate resources. Through cognitive heterogeneous network interference analysis, we reason out of the interference tolerance limits under imperfect spectrum sense, and finally proposes a convex optimization algorithm to achieve an optimal allocation of spectrum resources. Simulation results show that: under the imperfect spectrum sensing, this method can effectively reduce the average delay of system, and improve transmission speed and the overall throughput of the cognitive heterogeneous network.

[Key words] spectrum sensing heterogeneous convex optimization resource allocation