

一种认知无线网络中公共控制信道的动态建立方法*

史迺冬,汪一鸣

(苏州大学 电子信息学院,江苏 苏州 215006)

摘要: 针对目前对认知无线网络公共控制信道研究较少的现状,提出了一种在不增加额外成本、不采用其他通信方式且不影响授权用户使用的前提下,根据信道空闲程度优先序列动态建立认知无线网络公共控制信道的方法。用网络行为仿真软件 OPNET 建立基于该方法的完整的系统模型和仿真环境,根据仿真结果设计了基于“通信成功率”和“公共信道建立时间”加权的通信质量优化方案,提出了相应的归一化性能函数,并以此为基础确定了优化预设公共控制信道数目这一主要参数。

关键词: 认知无线网络;公共控制信道;优先级排序;优化

中图分类号: TN915

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)15-0048-04

A dynamic establishment of the public control channel for CRN

Shi Erdong, Wang Yiming

(School of Electronic Information, Soochow University, Suzhou 215006, China)

Abstract: Aiming at the status that there are few studies of the public control channel(PCC) in cognitive radio network(CRN), a method for PCC's dynamic establishment according to an order of priority of the channel without extra overhead has been proposed. In this paper, a complete system model and simulation environment based on OPNET are set up, A normalized performance function for the weighted optimization based on the communication success rate and the PCC's establish time is deduced. At last, a scenario to select the pre-determined number of PCCs as a main parameter is put forward.

Key words: cognitive radio network; public control channel; channel priority; optimization

认知无线网络 CRN (Cognitive Radio Network) 就是认知无线电的网络化。其本质在于将认知无线电 CR (Cognitive Radio) 的关键技术(环境感知、智能接入等)应用于无线通信网络的整体中去研究^[1]。CRN 能够利用认知来获取环境信息,通过对环境信息进行处理和学习做出智能决策,并据此重构网络,实现对无线环境的动态适应。

与其他的无线网络类似,CRN 也需要通过一定的方式来实现网络节点之间的互相协调和控制以保证通信的正常进行,这就是公共控制信道产生的根本原因。简单地说,公共控制信道就是一个事先约定好的专门进行用户基本信息交换和控制指令下发的通信信道。随着网络技术的发展,无线网络中用于控制的开销越来越大,公共控制信道的重要性也就越发凸显。要想让一个无线

网络能够正常工作,其公共控制信道的畅通和便捷是必不可少的。

与传统的无线网络相比,CRN 的公共控制信道有其自身特点,主要体现在以下几点:

(1) CRN 的通信原理是 CR,即对授权用户频谱“空穴”的二次利用。从这个角度来说,CRN 公共控制信道的建立和使用也应当符合 CR 的基本原则,即不得影响授权用户 PU (Primary User) 对该信道频率的正常使用。

(2) 在不影响 PU 对频率的正常使用的情况下,CRN 的控制信道也应该具备公共控制信道的一般特点,即信道畅通且可以被所有的网络节点方便地使用或者监听。

(3) 相对于其他无线网络,CRN 在公共控制中需要用到更多的环境参数和控制信息。

目前关于 CRN 公共控制信道的设计主要有以下 3 种方案^[2]。

(1) 划分出一段专门的频谱作为公共控制信道,如

* 基金项目:国家自然科学基金项目(60872003);苏州市应用基础研究计划项目(SYJG0925);博士学科点专项科研基金(20093201110005)

参考文献[3];

(2)选择一段免执照频段作为公共控制信道;

(3)采用超宽带技术进行信令传输,以做到不干扰其他用户,如参考文献[4]。

这3种方案均有不尽人意之处。方案(1)严格意义上说已经不属于认知无线电的范畴;方案(2)虽然可以避免干扰授权用户,但是需要独占公共控制信道,并且可能会和其他使用免执照频段的设备产生串扰;方案(3)虽然解决了对授权用户的干扰以及来自其他设备的串扰的问题,但是与数据通信完全不同的公共控制通信方式又额外增加了系统的成本和复杂度。

当前在这一领域的研究主要侧重点在减少认知无线网络用户对公共控制信道的依赖性上。参考文献[5]、[6]、[7]分别提出了不同的能量检测协同算法,以满足认知用户基本性能需要的前提下尽可能地降低对控制信道的依赖。目前对公共控制信道建立方法自身的研究还开展的比较少。虽然参考文献[8]提出了Ad Hoc模式下CRN基于博弈论的公共控制信道的信道建立算法,但是该算法和其他的公共控制信道建立算法类似,有计算复杂度高以及在认知用户节点CU(Cognitive User)增加时性能下降较为严重等缺点,缺乏实际应用价值。

1 CRN 公共控制信道的动态建立方法

针对当前的研究现状,本文提出了一种简单快速的CRN建立公共控制信道的方法。在CRN中,公共控制信道也应该是具有认知特性,不能干扰到PU的正常使用,因此,公共控制信道的建立是动态的。

本文所设置的研究场景为:CRN为基站BS(Base Station)集中式控制下的点对点通信网络。即由基站负责覆盖区域内认知信道的检测,并在收到来自认知节点的通信请求后,向收发双方认知节点下发通信许可和最优通信频谱。假设所有的CRN节点(包括BS)均可以与其他节点建立通信,忽略隐终端和暴露终端问题,并假设所有的干扰均来自授权用户,忽略空间噪声和其他干扰,如图1所示。而公共控制信道就是连接基站和认知节点的纽带。

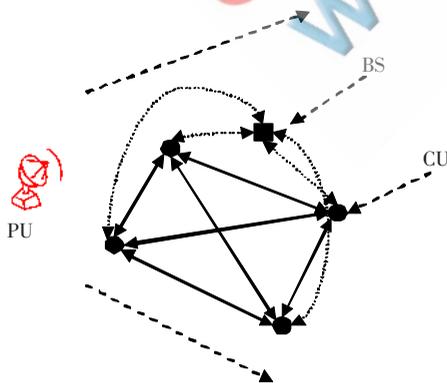


图1 认知无线网络模型

本文的公共控制信道建立的整体思路是:根据频谱感知获得的先验知识将所有的认知信道按照其是否适合作为公共控制信道的程度进行排序,确定预设所有信道被选为公共控制信道的优先级,节点和基站再根据此优先级完成公共控制信道的建立。排序的依据是认知信道在一个时间周期内的空闲时间的长短,由此确定这些认知信道作为CRN的公共控制信道的适合程度。显然,在一个周期内,PU活跃时间越短的信道在CRN中就越稳定,也就越适合作为公共控制信道。按照适合程度将CRN中的认知信道进行排列,并优先使用最适合的信道作为公共控制信道。根据这个方法可以将按照优先级排列好的认知信道记作 C_1, C_2, \dots, C_n ,并通过程序的形式写入CRN的基站和各个节点。

公共控制信道的建立过程如下:

(1)CRN的BS在默认的最高优先级公共控制信道等待来自CU的接入请求,并同时对该信道进行能量检测。

(2)BS一旦检测到最高优先级信道被PU使用,则自动切换至次高优先级公共控制信道等待,以此类推。

(3)当BS在非最高优先级公共控制信道等待时,还将对高于该信道优先级的其他信道进行监听,一旦监听到更高优先级的信道空闲,则自动切换至优先级较高的信道作为公共控制信道等待,公共控制信道的动态转移如图2所示。

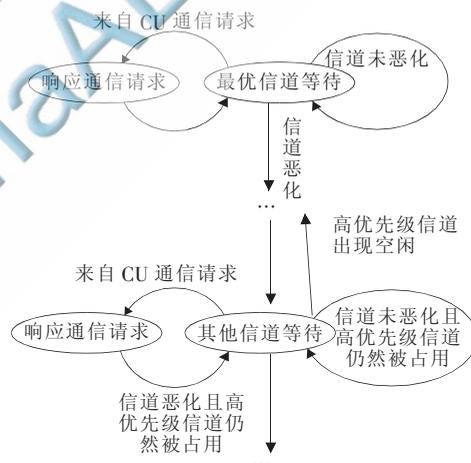


图2 BS的状态转移图

(4)CU在试图同其他节点通信之前,首先要通过控制信道同BS取得联系。在这个过程中,CU将首先对最高优先级控制信道进行侦听,如果侦听到信道为空闲,则将在最高优先级控制信道上同BS取得联系,控制信道建立成功。

(5)如果侦听结果为信道忙碌或者通信失败,则CU认为基站忙碌或者最优通信信道被PU占用,如果检测到基站忙碌,则CU等待一段时间;如果是信道被PU占用,则CU自动切换至次优通信信道与BS联系,以此类推直至控制信道建立成功或者所有控制信道均不可用,其工作流程图如图3所示。

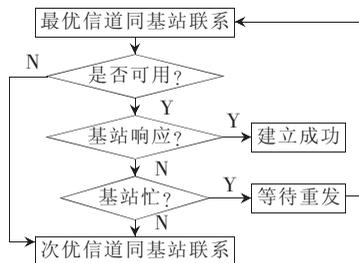


图3 CU的工作流程图

(6)作为接收方的CU,将在所有被预设为可能作为控制信道的信道上进行监听,以便接收来自BS的控制信息。

2 系统仿真和信道选择优化

OPNET 是一款网络仿真技术软件包,相比于其他的仿真软件,其特点在于能够仿真网络通信的具体过程,并能够从网络整体角度和节点角度进行网络级的行为仿真和数据采集^[9]。本文在 OPNET 中对提出的公共控制信道建立方法进行了建模和仿真。

设置仿真场景为自由空间,所有的CU、PU和BS均在其他节点的通信范围之内。仿真环境将主要包括以下几个参数:(1)可用认知信道数目 M ;(2)预设控制信道数目 N ;(3)CU数目 P ;(4)CU的工作方式;(5)PU的活跃时间。

首先将所有的认知信道按优先级排序,并记为 $C_1, C_2 \dots C_M$,这将作为CU的已知预设条件;其次,CU将在每完成一次通信后等待一段时间,然后发起新一次的通信,等待时间为 $0 \sim 60$ s范围内的随机数;此外,为了让CU能够完整经历图3的工作流程,令仿真时长为 10^5 s,不同认知信道($C_1, C_2 \dots C_M$)的PU的活跃时间为:

$$C_n = \begin{cases} 1, & 10\,000 + 500(n-1) \leq t \leq 20\,000 + 1\,000(n-1) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中, $C_n=1$ 代表PU正在使用认知信道 C_n ($1 \leq n \leq M$), $C_n=0$ 表示认知信道 C_n 处于空闲状态,可以被CU使用。

本文将从通信成功率和公共信道建立时间两个指标去评价公共控制信道建立方法的通信质量。通信成功率就是CU发起的所有通信请求中最终成功建立公共控制信道的请求次数的比例。公共信道建立时间则指的是从CU发起通信请求到公共控制信道成功建立这一过程所需要花费的时间。

根据上述环境参数,令 $M=10$,即仿真环境中有10个可用认知信道。图4和图5分别给出了在CU数目 P 不同的情况下,平均公共信道建立时间(I_{avg})和平均通信成功率(S_{avg})随预设控制信道数目 N 的变化。

从图中可以总结出,预设控制信道数目 N 越大, I_{avg} 会有所增加。这是因为CU在较高优先级的预设控制信道通信失败后就会转而使用较低优先级的预设控制信道,从而消耗了更多的时间。同理, N 越大,所有预设控制信道均不可用的可能性就越小, S_{avg} 就越大。但是与通

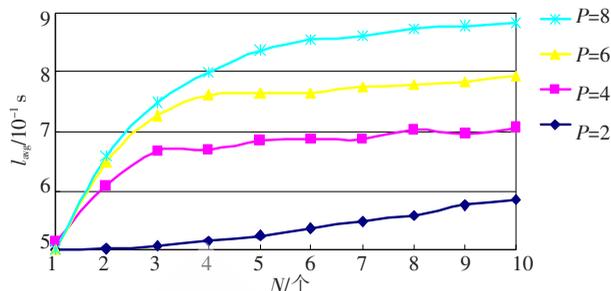


图4 平均公共信道建立时间随预设控制信道数目的变化

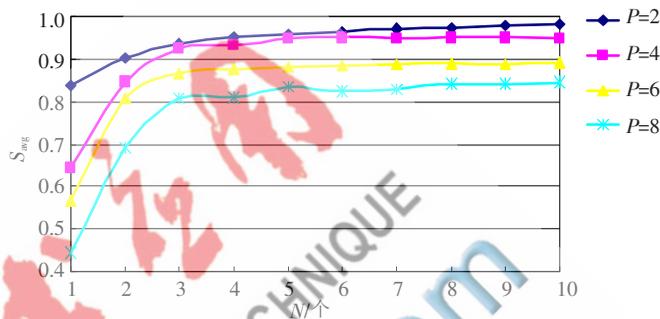


图5 平均通信成功率随预设控制信道数目的变化

信延时不同的是,这个增加的幅度会随着认知信道数目的增加而呈现出较为明显的边际效应递减趋势。

而随着CU数目 P 的增加,CU之间产生冲突的几率也就越大,因此,整体的通信质量会有所下降,但是趋势不会变化。

图4和图5表明,鱼和熊掌不可兼得,如果想要获得更高的通信成功率,就必须付出增加公共信道建立时间的代价。那么如何才能做到对两者的平衡,并选择一个最适合的预设控制信道数目 N 呢?下面通过建立一个性能评价函数来确定在不同的要求下预设控制信道数目对系统的影响。

首先对 I_{avg} 和 S_{avg} 相对于 N 的变化函数进行归一化。令:

$$G_n: S_{avg} = G(N=n), 1 \leq n \leq M \quad (2)$$

$$H_n: I_{avg} = H(N=n), 1 \leq n \leq M \quad (3)$$

则归一化方法为:

$$G'_n = \frac{G_n - \min(G_1, G_2 \dots G_M)}{\max(G_1, G_2 \dots G_M) - \min(G_1, G_2 \dots G_M)} \quad (4)$$

$$H'_n = \frac{H_n - \min(H_1, H_2 \dots H_M)}{\max(H_1, H_2 \dots H_M) - \min(H_1, H_2 \dots H_M)} \quad (5)$$

作为性能评价函数,其返回结果应符合人们的使用习惯,即数值越大代表性能越好,且返回结果的趋势应符合原有参数。经过 G'_n 归一化后的数值很好地符合了性能评价函数的条件,可以直接使用;而 H'_n 经过归一化处理后的函数显然不满足这一点。因此,需要将反转之后重新归一化,即:

$$H'_n = \frac{H_{M-n+1} - \min(H_1, H_2 \dots H_M)}{\max(H_1, H_2 \dots H_M) - \min(H_1, H_2 \dots H_M)} \quad (6)$$

这样就可以在不改变原有趋势的情况下反映性能的变化。

网络与通信 Network and Communication

为了区分两者的重要程度,在这里引进权值 A ,其取值范围为 $[0, 1]$ 。若 S_{avg} 在性能函数中的重要性为 A ,则 l_{avg} 的重要性就为 $1-A$ 。

因此性能函数 U_n 可用式(4)表示:

$$U_n = \frac{G_n - \min(G_1, G_2 \cdots G_M)}{\max(G_1, G_2 \cdots G_M) - \min(G_1, G_2 \cdots G_M)} + (1-A) \left(\frac{H_{M-n+1} - \min(H_1, H_2 \cdots H_M)}{\max(H_1, H_2 \cdots H_M) - \min(H_1, H_2 \cdots H_M)} \right) \quad (7)$$

令 $M=10, P=2$, 则根据 A 的取值不同,相应的性能函数 U_n 如图 6 所示。

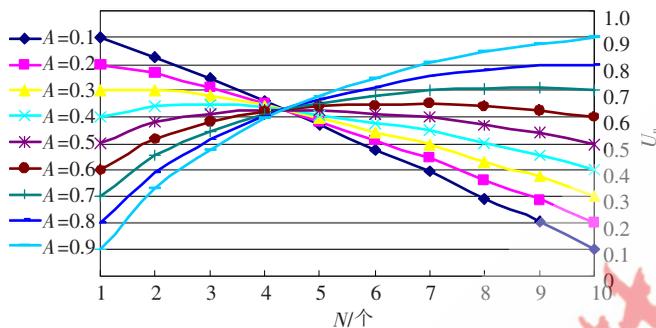


图 6 A 取值不同时的性能函数簇

令 $A=0.5$, 即通信延时和通信成功率对系统设计的重要性是相同的。由图 6 可知,认知信道数目为 4 时,性能函数达到最大值。也就是说,按照优先级取前 4 个认知信道作为预设控制信道,可以使该公共控制信道建立方法的性能最优化。

可知,使系统性能达到最优的预设控制信道数目 N^* 满足:

$$N^* = n^*, U_n^* = \max(U_1, U_2, \dots, U_M) \quad (8)$$

$s.t. P \in N^+, M \in N^+, A \in [0, 1]$

根据以上方法,令 $P=2, A=0.5$, 则根据认知信道数目 M 的不同,最优的预设控制信道数目 N^* 的取值变化如图 7 所示。

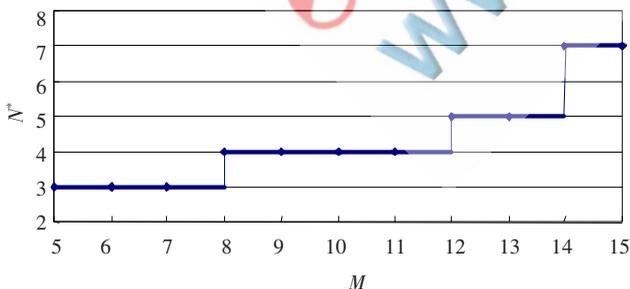


图 7 不同 M 取值下的最优预设控制信道数目 N^*

可见,最优控制信道数目 N^* 并非是一个一成不变的值,而是根据可用认知信道数目 M 的不同有着不同的取值。

《微型机与应用》2012 年第 31 卷第 15 期

在 CRN 中,公共控制信道是保证整个网络系统正常运转的神经中枢。本文给出了一种不依赖于专有控制信道、免许可频段和其他调制方式的 CRN 的动态的公共控制信道建立方法,并给出了最优化方案的设计、计算方法和结果,对于未来的 CRN 理论完善和网络的建立有一定的指导意义。由于时间和作者能力的限制,本文未对 CU 间的通信冲突导致通信质量下降的问题进行深层次的研究和改进。这将作为未来工作的改进方向。

参考文献

- [1] 王金龙,吴启晖,龚玉萍,等.认知无线网络[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [2] DANIJELA C, SHRIDHAR M, DANIEL W, et al. A cognitive radio approach for usage of virtual unlicensed spectrum [C]. Proceedings of 14th IST Mobile Wireless Communications, June 2005.
- [3] HOLLAND O, ATTAR A, OLAZIREGI N, et al. A universal resource awareness channel for cognitive radio[C]. IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006:1-5.
- [4] 赵陆文,缪志敏,周志杰,等.适用于认知无线网络的宽带公共协同信道 [J]. 系统工程与电子技术,2010(5): 1078-1082.
- [5] 张继良,汪洋,刘法,等.控制信道受限的认知无线电联合频谱感知[J].系统工程与电子技术,2010(6): 1113-1116.
- [6] HAYKIN S. Cognitive radio: brain empowered wireless communications [J]. IEEE Journal Selected Areas Communication, 2005,23(2):201-220.
- [7] Sun C H, Zhang W, LETAIEF K B. Cooperative spectrum sensing for cognitive radios under bandwidth constraints[C]. Wireless Communications and Networking Conference,2007: 1-5.
- [8] 韩小博,罗涛.Ad Hoc 认知无线网络中基于博弈论的公共信道建立算法[J].电子学报,2010(7): 1699-1703.
- [9] 李馨,叶明.OPNET Modeler 网络建模与仿真[M].西安:西安电子科技大学出版社,2006.

(收稿日期:2012-02-13)

作者简介:

史迹冬,男,1986 年生,硕士研究生,主要研究方向:认知无线网络的频谱感知和智能决策。

汪一鸣,女,1956 年生,博导,主要研究方向:多媒体通信和无线通信、通信信号处理、宽带无线通信技术及信源信道联合编码等。

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 57