

基于 NS2 的认知无线网络模型

杨晨炜, 冷甦鹏

(电子科技大学通信抗干扰国家级重点实验室, 成都 610054)

摘要: 针对 NS2 对多接口、多信道网络协议的模拟支持薄弱的问题, 提出一种基于 NS2 的认知无线网络模型, 通过对网络整体框架的修改以及功能的拓展, 使 NS2 不仅支持多接口、多信道, 而且可以进行功率控制和认知无线网络的模拟, 并具备通用性。仿真实例证明了该方案的有效性。

关键词: NS2 模拟器; 多接口; 多信道; 认知无线电; 功率控制

NS2-based Cognitive Radio Network Model

YANG Chen-wei, LENG Su-peng

(National Communication Laboratory, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

【Abstract】 NS2 doesn't support simulation of multi-channel, multi-interface, which becomes an obstacle to some relevant researcher when conducting simulation. To solve this problem, this paper proposes a solution of generality which makes NS2 support the simulation of multi-channel, multi-interface, power control and Cognitive Radio(CR) network by modifying the framework of network module and extending functions. An example is studied to verify the effectiveness of the proposed solution.

【Key words】 NS2; multi-interface; multi-channel; Cognitive Radio(CR); power control

1 概述

NS2(Network Simulator v2)是一种面向对象、离散时间驱动的网络环境模拟器, 提供了在无线或有线网络上的 TCP、路由、信道访问等多种协议的模拟^[1]。认知无线电(Cognitive Radio, CR)技术通过让具有认知功能的节点与授权用户共享信道来解决无线频谱资源紧张的现状。具备 CR 功能的节点可以感知周围频谱环境, 并选择一条或多条合适的信道来发送数据。这种特性决定了仿真工具必须支持多信道和功率控制, 最好支持多接口。但目前 NS2 只提供单信道的仿真环境, 不支持多接口, 而且物理层设计简单, 无法进行功率控制, 使仿真较为困难。

现有的一些认知无线电相关文献采用 NS2 作为仿真工具。文献[2]仿真了双接口、多信道的一种认知无线电 MAC 协议, 无功率控制。文献[3]仿真的是单接口、多信道的认知无线电 MAC 协议, 探讨频谱检测的高效性, 也没有功率控制功能。文献[4]提出一个报文错误纠正系统, 并讨论了其对网络吞吐量的影响, 采用的是单接口、双信道的结构, 也无功率控制功能。上述仿真一般都实现了多信道功能, 但很少结合功率控制, 而且至今还没有专门讨论如何添加多信道或认知无线电模块的文献, 缺少通用的仿真框架。

本文提出一种基于 NS2 的认知无线网络模型, 使在 NS2 中方便添加此类协议成为可能, 并通过一个例子来证明该模型的有效性。

2 系统模型

认知无线网络中包括主用户与次用户。主用户也称授权用户, 具有授权信道的使用优先权, 而次用户指具备认知能力的节点, 在主用户不占用信道或正在占用但自己对信道的使用不对其构成过分干扰的情况下可以使用信道(视具体

协议而定), 以提高信道使用率, 其系统模型如图 1 所示。

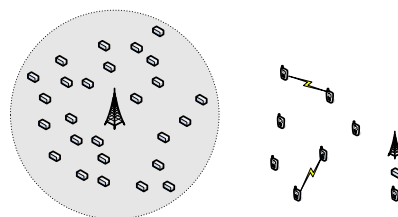


图 1 认知无线网络模型

对于移动节点, 在 NS2 中是由一系列网络组件构成, 这些组件包括: 路由代理(RTagent), 链路层(LL), 地址解析协议模块(ARP), 接口优先队列(IFq), 媒体访问控制层(MAC), 网络接口(netIF), 传播模型(Propagation Model)等, 它们在 OTcl(面向对象的 Tcl 脚本程序设计语言)中被创建并组合到一起的, 默认的结构是每个节点只有 1 个 MAC 模块、1 个 netIF, 在通信过程中只能访问一条信道, 因此, 无须进行信道分配, 也没有功率控制子模块。根据认知无线电环境对节点及信道的要求, 本文将它改为如图 2 所示的结构。

图 2 中 MAC 层与多个 netIF 连接, 并且添加了信道分配

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60802024); 国家“863”计划基金资助重点项目(2009AA011801); 国家“863”计划基金资助项目(2009AA011801); 教育部博士点基金新教师基金资助项目(200806141014); 通信抗干扰技术国家级重点实验室基金资助项目(9140C0203010904)

作者简介: 杨晨炜(1983—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 数据通信与计算机网络, 自组织无线网络, 认知无线电 MAC 协议; 冷甦鹏, 副教授、博士

收稿日期: 2009-08-11 **E-mail:** chewyoung@163.com

与功率控制子模块。信道分配子模块控制每个网络接口分别使用哪个信道，功率控制子模块根据物理层搜集到的频谱功率信息进行功率控制，使报文不相互干扰。其中，频谱信息的搜集和报文冲突控制工作本来应由物理层实现，但由于现有 NS2 版本中报文冲突的控制是在 MAC 层实现的，因此尽量少改动其原有结构，本文的解决方案仍把它们放在 MAC 层实现。

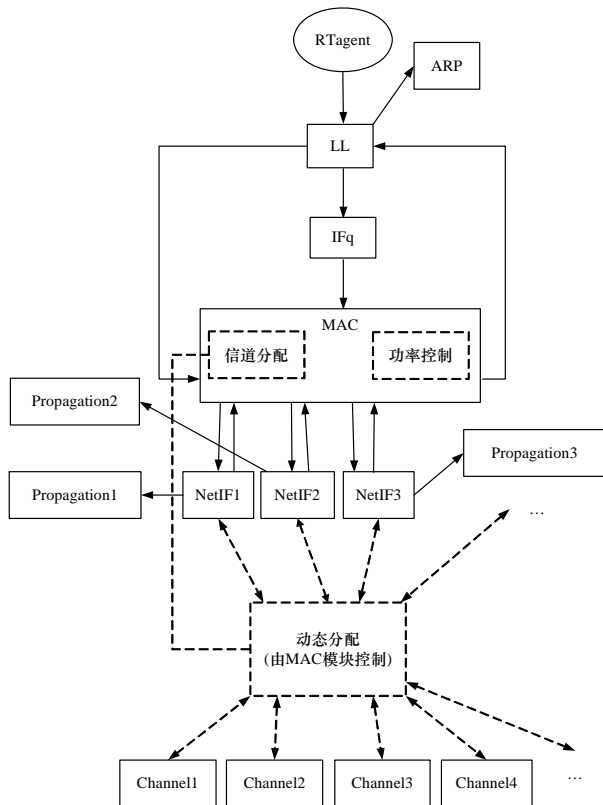


图 2 认知节点网络层以下结构

3 认知无线电模块的添加

建立认知无线电环境的关键在于次用户网络的 MAC 协议，它分析得到的频谱信息，对信道进行动态分配，并进行功率控制，因此，认知无线电模块的添加应包括对多接口、多信道功能的扩展，对物理层和 MAC 层的修改这几方面。

3.1 多接口、多信道功能的添加

3.1.1 多接口功能的添加

在 NS2 中，网络组件的创建和组合是在 OTcl 中进行的，最终的添加组件函数是 ns-mobilenode.tcl 中的 add-interface，这个函数决定节点由哪些组件构成、每个组件的上下层以及一些特殊功能模块。只要创建多个 NetIF 并把他们的上层指定为同一个 MAC 对象即可建立起如图 2 所示的节点模型。函数中节点组件的组合是通过 OTcl 中的一些已有函数来做到的，而这些函数在底层的 C++ 协议模块中都需要有相应的函数与之对应才能真正实现，所以如果已有函数无法实现组件之间相连的功能，就必须另外添加函数来实现，而底层的实现方式是通过协议代码的 command 函数进行扩展。

3.1.2 多信道功能的添加

多信道的添加关键在于使 MAC 协议具备动态改变节点所使用信道的功能，但除了信道选择策略外，还需要物理层模块和信道模块的配合。考虑到 MAC 协议中需要功率控制机制，MAC 层应能得到所有报文的功率信息，因此，接收所

有逻辑信道上的所有节点发送的报文，并发送到所有其他节点，而把区分报文所在信道的工作放在上层实现。

3.2 对物理层和 MAC 层的修改

现有版本的 NS2 把同一信道报文的接收放在了 MAC 层实现，包括判断信道是否空闲，数据接收是否发生冲突等。判断报文是否接收或产生冲突是根据报文接收时的信噪比来决定的，但是现在的解决方法是只要报文的接收功率不在检测门限以上就不考虑其产生的干扰而且在检测门限以上也只考虑单个报文的干扰。而在认知无线电当中，判断接收信噪比是进行功率控制的很重要一环，考虑干扰的叠加非常必要。

基于以上现实，节点物理层应该把所报文全部向上传递到 MAC 层，让 MAC 层去实现各个信道的干扰叠加的统计和功率控制。在具体实现上，因为每个报文的发送和持续时间可能是不一样的，而 MAC 层模块使用的定时器对报文没有记忆功能，所以需要修改原有的定时器类。由于在 NS2 中报文对象是继承自 Event 类的 Packet* 类型，而每个定时器类有一个 Event* 类型的成员变量，只要把报文的内存地址作为参数传给定时器就可以很方便得使定时器具有记忆功能，实现干扰叠加的统计。

3.3 认知无线电协议仿真实例设计

本文以一个简单的认知无线电 MAC 协议作为实例。次用户节点采用一个收发机，选择一条固定的信道作为控制信道，在没有感知到主用户的情况下，次用户收发节点通过 RTS-CTS 的交互选择条件最好(即干扰最小)的数据信道进行通信；当感知到主用户存在时，次用户节点即使没有信道可用也不能选择被主用户占用的授权信道，而主用户可以随时使用授权信道。次用户在选择信道的同时也进行简单的功率控制，控制报文的发射功率固定，接收方根据控制报文的接收功率来决定并通知发送方数据报文的发送功率。

4 修改后仿真运行结果

仿真场景与图 1 类似，分别采用 3 对、5 对和 7 对次用户节点(每个发送节点都互为邻居)，1 条控制信道，5 条数据信道，一个主用户基站间断地发送信号，同时占用 3 个授权信道，对各个信道的占用情况随机变化，并且主用户与次用户网络的距离足以使之相互影响。节点采用的仿真参数如下：

- 信道速率：1 Mb/s
- 接收功率门限： 3.652×10^{-10} W
- 最低信噪比：10 dB
- 次用户最大功率：128 mW
- 次用户最小功率：1 mW
- 控制报文功率：200 mW
- 运输层协议：UDP
- 业务流协议：CBR
- CBR 报文大小：512 Byte
- CBR 发送时间间隔：0.01 s

图 3、图 4 分别是当主用户不工作时节点对数分别为 3, 5, 7 时次用户网络的吞吐量和时延情况。在时延比较中添加了和 7 对运行 802.11 协议并独占信道的网络时延的对比。从图中可见当网络负载较轻的时候，3 种情况下吞吐量都随着业务量的增多而成比例地提高，但是当业务量达到一定程度数据信道数无法满足需求时，增长变缓，当满负荷时无法继续增长，而且网络时延也随着次用户节点对数的增多而增大，当次用户网络有 7 个节点时，由于数据信道不够用，有时需要等待较长时间，因此有时时延急剧升高。

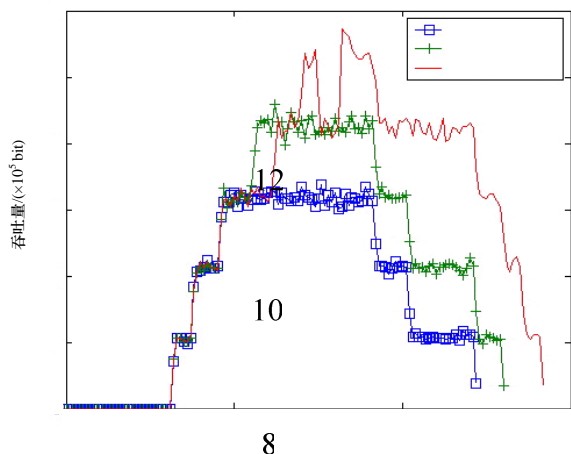


图3 CR网络吞吐量对比

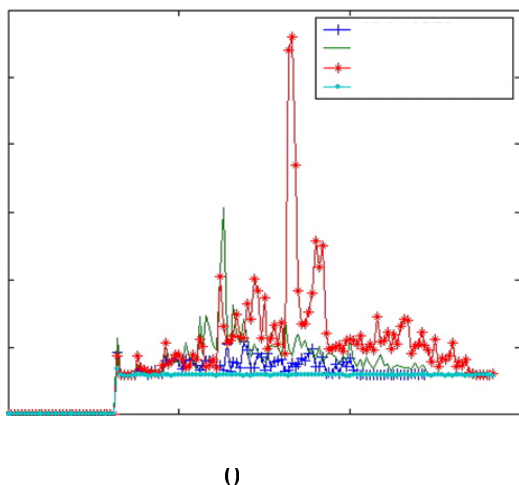


图4 CR网络时延对比

图5是当主用户工作与不工作时网络吞吐量的对比情况。可见，主用户经常性地占用信道会导致次用户无可用信道且出现很多丢包的情况，使整个网络的吞吐量大幅下降。

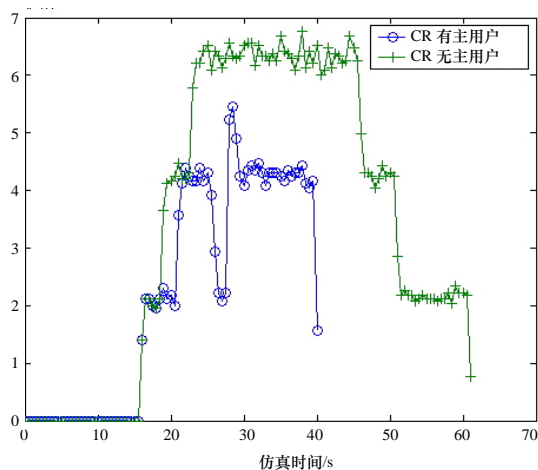


图5 主用户工作与未工作的次用户网络吞吐量比较

5 结束语

本文提出一种基于NS2的认知无线网络模型。仿真实验结果验证了该模型的有效性，为NS2增加了多接口、多信道和干扰累积的功能，方便了多信道和认知无线网络的仿真，对多信道和认知无线电的研究具有积极的意义。

参考文献

- [1] 于斌, 孙斌, 温暖, 等. NS2与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [2] Noun C, Maulin P, Venkatesan S. A Full Duplex Multi-channel MAC Protocol for Multi-hop Cognitive Radio Networks[C]//Proc. of the 1st International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Network and Communications. Orlando, Florida, USA: [s. n.], 2006.
- [3] Jia Juncheng, Zhang Qian. HC-MAC: A Hardware-constrained Cognitive MAC for Efficient Spectrum Management[C]//Proc. of GLOBECOM'07. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2007.
- [4] Lee Byungjo, Seung Hyong Rhee. Enhancement in Cognitive Radio Networks[C]//Proc. of ICOIN'08. Busan, Korea, [s. n.], 2008.

编辑 金胡考

(上接第110页)

扑势并且满足复杂网络层次特性和幂率特性的网络拓扑模型生成算法 PPHM, 并通过该算法对真实 Internet 拓扑结构进行模拟。实验证明, 通过本算法产生的网络拓扑能够体现网络的层次性、幂率特性并且通过计算节点拓扑势来区分节点的重要程度, 容易发现网络拓扑结构中的重要节点和敏感连接。下一步研究方向是采用数据挖掘的一些方法对网络节点的层次归属进行更为精确的划分、并针对某个优化目标对模型进行合理优化, 以使模型能更真实地模拟网络拓扑结构。

参考文献

- [1] 李增军, 王轶, 杨永刚, 等. 基于层次模块性和幂律特性的 Internet 拓扑结构分析[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(22): 5791-5794.
- [2] 张宇, 张宏莉, 方滨兴. Internet 拓扑建模综述[J]. 软件学报, 2004, 15(8): 1220-1226.
- [3] Winick J, Jamin S. Inet-3.0. Internet Topology Generator[R]. Ann Arbor, USA: University of Michigan, Tech. Rep.: CSE-TR-456-02, 2002.
- [4] Aiello W, Chung F, Lu Linyuan. A Random Graph Model for

Massive Graphs[C]//Proc. of ACM SIGCOMM 2004. Portland, OR, USA: ACM Press, 2000: 171-180.

- [5] Barabási A L, Albert R. Emergence of scaling in Random Networks[J]. Science, 1999, 286(5439): 509-512.
- [6] Medina A, Lakhina A, Matta I, et al. BRIT: An Approach to Universal Topology Generation[C]//Proc. of MASCOTS'01. Cincinnati, Ohio, USA: IEEE Computer Society, 2001: 346-353.
- [7] Li Deyi. Artificial Intelligence with Uncertainty[M]. New York, USA: CRC Press, 2007: 207-267.
- [8] 肖俐平, 孟晖, 李德毅. 基于拓扑势的网络节点重要性排序及评价方法[J]. 武汉大学学报, 2008, 33(4): 379-383.
- [9] 杨云, 高飞, 刘萍, 等. 一种遵循幂率分布的网络拓扑生成算法 PLOD+ [J]. 计算机应用研究, 2007, 24(4): 315-318.
- [10] AIDA. IPv4 Routed /24 Topology Dataset[DB/OL]. (2007-03-04). <http://www.caida.org/home/>.
- [11] 李莹, 张大方. 一种遵循 Rich-Club 现象的网络拓扑模型[J]. 计算机工程与科学, 2005, 27(4): 73-75.

编辑 金胡考