

基于 OPNET 的自组织认知无线网络建模*

张晓艳¹, 扈罗全², 汪一鸣¹

(1. 苏州大学 电子信息学院, 江苏 苏州 215006;

2. 苏州信息产品检测中心, 江苏 苏州 215104)

摘要: 设计了合适的认知节点, 搭建了 C-Ad Hoc 网络架构。通过将 AODV 算法进行适当修改, 使其能够运行在 C-Ad Hoc 网络上, 仿真结果验证了该网络模型的可行性。

关键词: 认知节点; 自组织认知无线网络; OPNET

中图分类号: TN929

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)23-0048-04

OPNET based cognitive Ad Hoc networks modeling

Zhang Xiaoyan¹, Hu Luoquan², Wang Yiming¹

(1. School of Electronics and Information Engineering, Soochow University, Suzhou 215006, China;

2. Suzhou Information Product Testing Center, Suzhou 215104, China)

Abstract: Appropriate cognitive nodes are designed and C-Ad Hoc networks architecture is established. By running appropriately modified AODV algorithm on the C-Ad Hoc networks, simulation results confirm the feasibility of the new designed networks.

Key words: cognitive nodes; cognitive Ad Hoc networks; OPNET

认知无线电^[1](CR)的提出实现了不可再生频谱资源的再次利用,是解决通信发展瓶颈问题的关键技术。认知无线网络(CRN)即认知无线电的网络化,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。目前国内该领域的研究还刚起步,主要集中在频谱检测技术和频谱共享技术的解决方案上,对网络的整体仿真还关注甚少,然而,认知无线网络的搭建和仿真也是该领域必不可少的环节。本文选用 OPNET^[2]仿真平台,利用其现有的无线信道模型和无线节点模型以及这些模型用于自组织认知无线网络(C-Ad Hoc)^[3]所存在的对频谱感知切换能力不足的问题,将它们进行合理的改进并添加自定义模块,引用跨层设计思想^[4],设计出了认知节点,搭建了 C-Ad Hoc 网络。然后适当改进 AODV 算法^[5],将频谱信息合理考虑进去,使其能够运行在 C-Ad Hoc 网络上,称作 C-AODV 算法,验证了 C-Ad Hoc 网络的可行性。

1 认知网络无线信道建模

在 OPNET 中,无线信道通过设定无线收发机属性

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(61172056)

来模拟。对于任何可能的收信机信道,封包都被拷贝一次经历后续的管道阶段,图 1 为发信机工作流程图。OPNET 关于发信机设定的几个管道阶段模型有接收主询(Rxgroup)、链路闭锁(Closure)、信道匹配(Chanmatch)、发送天线增益(Txgain)和传播延时(Propdel)。

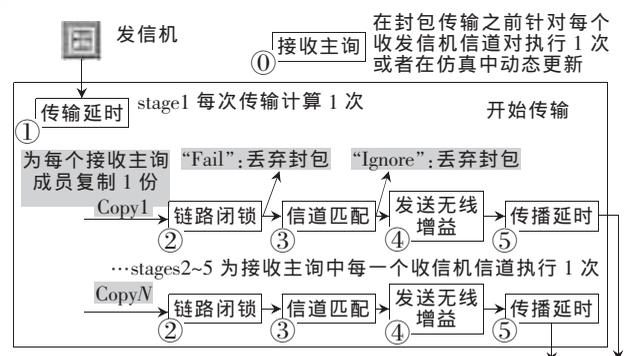
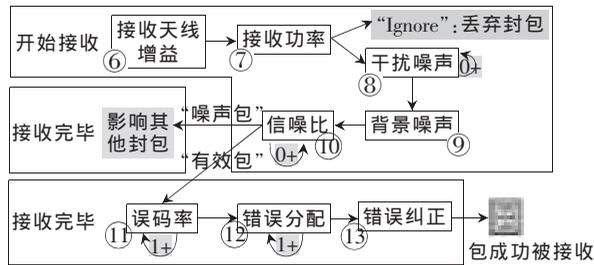


图 1 发信机工作流程图^[2]

收信机的管道阶段模型有 8 个,包括接收天线增益(Ragain)、接收功率(Power)、背景噪声(Bkgnoise)、干扰噪声(Inoise)、信噪比(SNR)、误码率(BER)、差错分布(Error)和错误纠正(ECC)。图 2 为收信机工作流程图。



0+ 跳过,或者执行 1 次或以上

1+ 执行 1 次或者以上

图2 收音机工作流程图

OPNET 现有的无线信道模型只考虑了收发信机处于固定信道的场景特点,且限制一个接收机只能对应一个进程模块,不适用于节点动态切换的多信道仿真。为解决这一问题,本文通过在节点数据处理模块(CPU)内部用指令控制收发信机对于信道的感知和多信道的自我切换,弥补其多信道动态切换能力的不足。同时,对发信机的接收主询和链路闭锁两个管道阶段进行改进,在接收主询中将处同一节点模块下的收音机隔离,以防止对自己发送数据包的情况,并增加感知收音机来模拟频谱感知功能。进一步在链路封闭中参考信道衰落特征将认知节点可直接传输的最大距离设定为一定范围,如 300 m,若传输距离超过 300 m,则需要中继通信,从而模拟 C-Ad-Hoc 网络。

2 无线认知节点建模

OPNET 中无线节点模型有多种,一般都是基于 OSI 参考模型分层建模。本文仅以移动自组网(MANET)节点为例来说明。图 3 是 MANET 节点的节点层模型,包括一部收发信机和 9 个 CPU 模块,反映出清晰的 OSI 模型层次关系,MANET 的几个典型的路由协议(包括目前已经比较成熟的 AODV 算法)则包含在属于网络层的 IP 模块中。

一般的无线节点(即授权用户)不需要感知频谱环境,它们有自己固定的可用频段。而在认知无线网络中,非授权用户必须有动态地感知和切换频谱的功能。这就意味着认知节点在以下 3 方面不同于一般无线节点:

(1) 认知节点需要具备能够感知周围可用信道并对多信道进行处理的能力;

(2) 认知节点能够完成动态频率的切换;

(3) 认知节点在检测到当前工作频段重新被授权用户

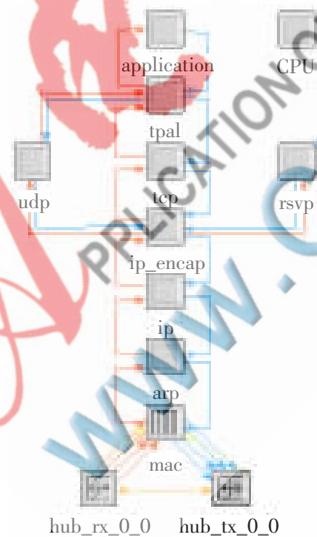


图3 MANET 节点的分层模型

占用时,能够迅速退出。

分析以上特征,可知感知检测在物理层。而邻节点分析处理和路由决策控制又分属链路层和网络层,上下层之间信息交流频繁,为此,需要引进跨层设计思想来设计认知节点模型。

本文的认知节点分为 3 类,依次是源节点、中继节点和目的节点,其共性体现在 3 大基本功能上。

(1) 信道冲突检测功能

信道冲突检测功能^[6]即载波监听功能。在认知无线网络中,每个认知用户都具备多带载波监听功能。利用此功能,认知用户可以检测当前某些频段上各个频率的使用情况,进而选择其中最优化频率工作。认知用户通过载波监听功能避免了在频率使用过程中与相应主用户之间产生信道冲突。此功能在自定义 CPU 模块中嵌入。

(2) 计时功能

路由的建立需要一定的时间,源节点在发出路由请求之后需要进入特定时间的等待中,如果在一定时间内路由没有成功建立,源节点继续进行路由请求。因此,节点需要具备计时功能。此功能在自定义 CPU 模块中嵌入。

(3) 节点移动功能

在 C-Ad-Hoc 网络中,主用户既可以是移动用户也可以是非移动用户,为了让建立的网络架构更符合实际的拓扑变化情况,该网络中的所有认知用户都需具备可移动的功能。此功能通过选择 OPNET 无线移动节点嵌入。

除此之外,源节点、中继节点和目的节点又各有自身的特点,下面以信道建模和节点建模中存在的问题及解决方法为引导,分别加以分析。

(1) 源节点设计

图 4 所示为源节点的节点域模型,包括 RREQ 包产生模块 source_generate,数据收发处理模块 source_send,对主用户的检测模块 src_chk,收发机 source_start、source_receive、chks_rcv 以及天线 src_ant 和 chks_ant。由于该仿真软件限制,一个接收机只能对应一个进程模块,因此,此处设置了两部收音机,一部对应数据处理模块的信号接收,一部负责主用户检测模块的信号接收。source_generate 负责创建新的 RREQ 包并传送到 source_send 模块,source_send 负责数据相关信息的记录及收发,src_chk 负责在源节点有数据发送需要时检测主用户的活动情况以判断可用频率。

(2) 中继节点设计

图 5 为中继节点 relay1 的节点域模型。其中 relay1_ant 和 chk1_ant 是天线,relay1_rcv、relay1_send 和 chk1_rcv 是收发机,relay1_pro 是数据处理模块,relay1_pri_check 是对主用户活动的检测模块。relay1_pri_check 在接收到 re-

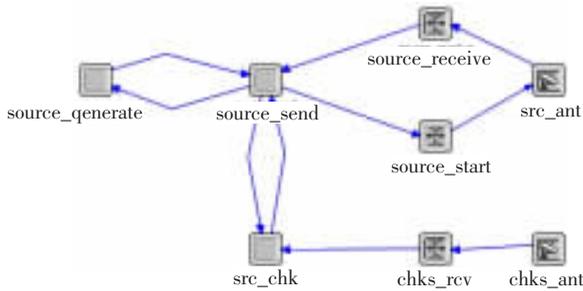


图4 源节点的节点域模型

lay1_pro 的命令时启动对主用户信号检测功能,检测主用户是否在使用其授权频率。若主用户不在使用其授权频率,则 relay1_pri_check 通知 relay1_pro 继续发送数据;若主用户在使用其授权频率,则换频再检测直到找到可用频率再通知 relay1_pro 继续发送数据。

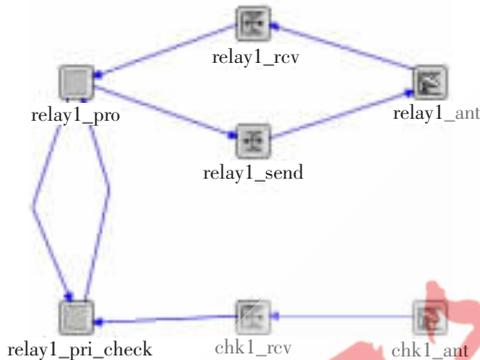


图5 中继节点1的节点域模型

本文中所有中继节点的建模思想一样,此处不再赘述其他中继节点。

(3) 目的节点设计

图6为目的节点的节点域模型。其中 dest_ant 和 chkd_ant 是天线,dest_rx、dest_tx 和 chkd_rev 是收发机模型,dest_pri_chk 是主用户活动检测模块,dest_pro 数据处理模块。数据模块对收到的包进行相应的处理,需要发包的时候即触发 dest_pri_chk 模块对主用户的活动情况进行检测。

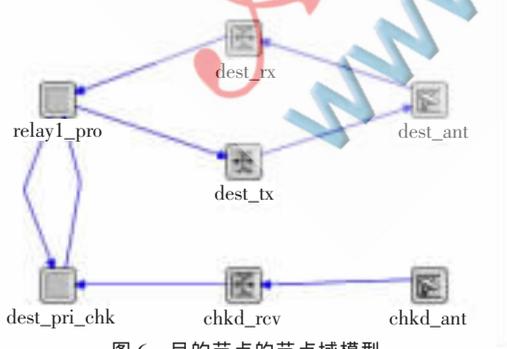


图6 目的节点的节点域模型

这3类节点的跨层设计体现在节点域模型上,其中收发机以及天线属物理层模块,负责感知外界环境,扫描信道信息,并将信道信息传至上层,同时还负责数据的发送与接收。CPU 模块同时完成链路层和网络层的功能,

节点在进行选路的时候需要联合物理层来感知信道信息,通过双向的信息反馈来判断并最终决定合适的信道,然后由物理层完成合适信道的切换,链路层实现节点对相应信道的接入,最后完成路由控制包的发送和接收。

3 C-Ad Hoc 网络建模

本文的主要工作是搭建 C-Ad Hoc 网络,然后采用 C-AODV 算法来验证网络的可行性。图7所示为搭建的 C-Ad Hoc 网络架构,该网络属于异构无线网络。其中 prim_1 和 prim_2 表示主用户,虚线所示为它们的功率覆盖范围,假设它们各自的授权频率为 f_1 和 f_2 (如 30 MHz 和 40 MHz)。主用户采用 ON-OFF 工作模式,主用户 1 每隔 t_1 时间工作一次,主用户 2 每隔 t_2 时间工作一次,工作时间均为 t_3 ;其余 5 个节点为次用户节点,其中 src 为源节点,dest 为目的节点,relay $_i$ ($i=1,2,3$) 分别是路由中继节点,它们在源节点和目的节点之间成功建立通信路由,如图中的路径 1 和路径 2,每条链路可用的频率均为 f_1 或者 f_2 。图中黑粗箭头代表中继节点 3 在仿真中的移动轨迹。

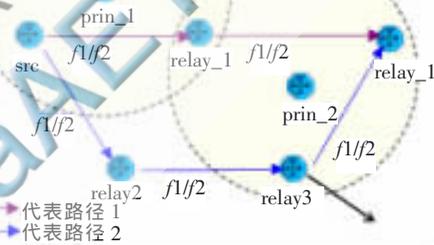


图7 C-Ad Hoc 网络架构

次级用户伺机接入 f_1 或者 f_2 ,当主用户活动的时候它们必须立即避开相应频率,以免对主用户造成干扰。认知节点的功率覆盖范围定为 300 m,次级用户均处于与邻居节点的可直接通信范围内。

4 C-Ad Hoc 网络仿真

4.1 AODV 算法思想加入网络

如前所述,Ad Hoc 网络的 AODV 协议不能直接用于 C-Ad Hoc 网络,本文沿用 AODV 基本流程,将感知的频谱信息合理放入 RREQ 和 RREP 控制分组中,综合考虑频谱管理与路径选择,建立路由表。此路由算法称作 C-AODV 算法。表 1 和表 2 分别是修改后的 RREQ 和 RREP 分组形式。

表1 修改后的 RREQ 分组形式

报文类型	RREQ ID
源节点地址	源节点序列号
目的节点地址	目的节点序列号
中继节点地址	中继节点序列号
跳数	本节点可用频段集合
保留	

表 2 修改后的 RREP 分组形式

报文类型	跳数
目的节点地址	目的节点序列号
源节点地址	源节点序列号
本节点所选用频段集合	保留

C-AODV 算法寻路的基本思想是:源节点根据周围主用户活动环境选择一个合适频率发出路由请求 RREQ 包,位于源节点可直接通信范围内且工作频率相同的中继节点收到 RREQ,中继节点首先建立或更新关于该条路由的路由表项,判断自己非目的地后选择合适频率加入 RREQ 包并将其继续转发,直到目的节点收到 RREQ。目的节点收到 RREQ 后首先建立或更新路由表项,然后选择合适频率将 RREP 包沿着反向路由表项单播至源节点,路由建立成功。图 8 和图 9 分别是节点处理 RREQ 和 RREP 分组的过程。

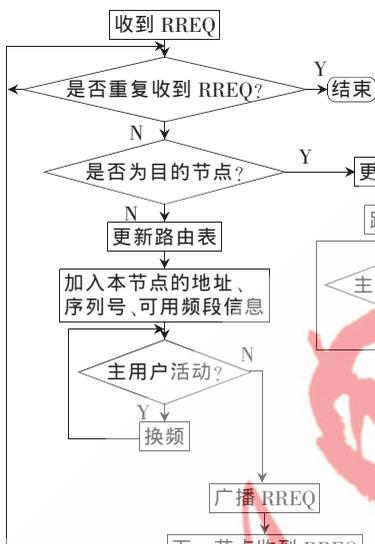


图 8 节点处理 RREQ 过程

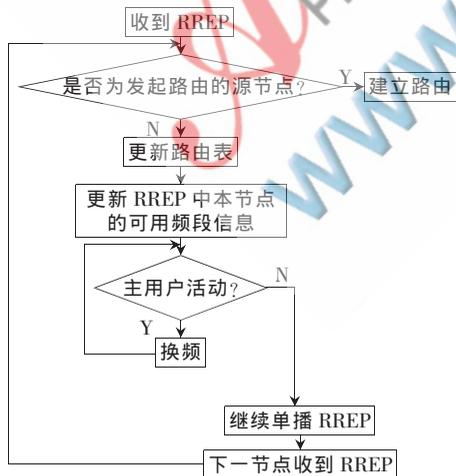


图 9 节点处理 RREP 过程

4.2 仿真结果

为了研究路由由建立与外部环境的关系,在仿真过程

中,假定寻路过程不断进行。

图 10 为仿真进程中的部分消息显示。从图中方框中的内容可以看出,这条成功路由是 src-relay2-relay3-dest,共 3 跳,通信频率均为 30 MHz,符合图 9 关于路径 2 的理论假设。

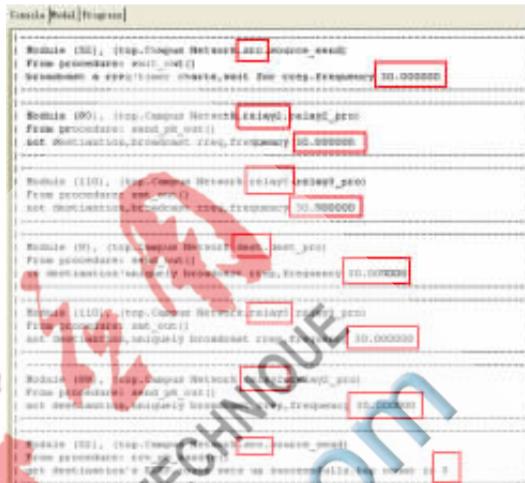


图 10 仿真进程中的部分消息展示

两跳路由与 3 跳路由的路径不同但对通信频率的选择相似,两跳路由的路径是 src->relay1->dest,通信频率可以是 30 MHz 也可以是 40 MHz,根据节点周围环境来决定。两跳路由符合图 9 关于路径 1 的理论猜想,此处不再图示。

图 11 和图 12 是仿真 8 min,在有节点移动情况下每条成功路由所需要的跳数。图 11 是无节点移动情况,总共 12 次成功建立路由,其中 3 跳路由 10 次,2 跳路由两次。3 跳路由比 2 跳路由更容易建立,这是因为中继节点 relay1 同时在主用户 1 和主用户 2 的通信范围内,当主用户活动的时候,relay1 必须避开相应频率以防止对主用户产生干扰,频率的不可用让 relay1 在源节点到目的节点的通信链路上变得不可用,因而 2 跳路由建立次数较少。图 12 是中继节点 relay3 在仿真进行 5 min 后开始沿着图 9 箭头方向移开网络时的路由建立情况。从图 12 中可以看出,在仿真进行 300 s 之后,路由成功次数比图 11 少,且由图 11 中的 3 跳 2 跳不定变为全部只有 2 跳。图 12 出现这样的差别是因为中继节点 relay3 在仿真进行 5 min (300 s) 后移开网络导致路由 src-relay2-relay3-dest 不可用,只有路由 src-relay1-dest 可用。又因为 relay1 受主用户工作影响较大,所以路由成功的次数也较图 11 降低了。

本文利用 OPNET 原有模型,将其修改并添加模块,设计出了认知节点并成功搭建 C-Ad Hoc 网络,运用 C-AODV 算法验证了网络的可行性。下一步将以此网络平台为基础,继续研究认知网络路由的优化问题。

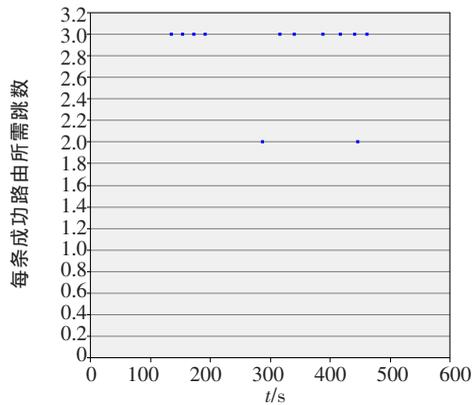


图 11 无节点移动情况

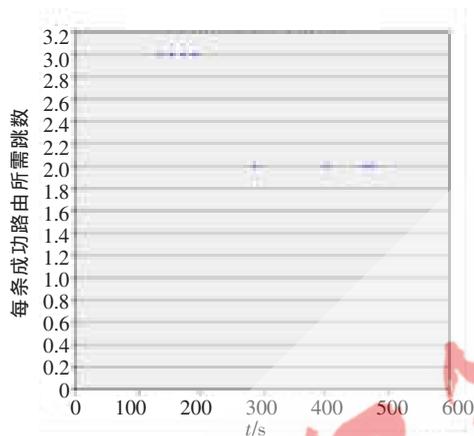


图 12 relay3 在仿真 5 min 后开始移开网络情况

参考文献

- [1] SIMON H. Cognitive radio: brain -empowered wireless communications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005,23(2): 201-220.
- [2] 张铭, 窦赫蕾, 常春藤. OPNET Modeler 与网络仿真[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [3] UMAR R, SHEIKH A U H. Cognitive radio oriented wireless networks: challenges and solutions. Tangier [C]. International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS), 2012:992.
- [4] PARIS S, NITA-ROTARU C, MARTIGNON F, et al. Cross-layer metrics for reliable routing in wireless mesh networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2013, 21(3):1003-1016.
- [5] PERKINS C, BELDING-ROYER E, DAS S. RFC 3561, ad hoc on-demand distance vector(AODV)routing[S]. 2003.
- [6] 赵雄鹰, 汪一鸣. 基于载波检测的认知无线电方案设计与实现[J]. 微型机与应用, 2010(10): 53.

(收稿日期: 2013-08-11)

作者简介:

张晓艳, 女, 1989 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线通信。

汪一鸣, 女, 1956 年生, 博士, 博士生导师, 主要研究方向: 多媒体通信和无线通信。