

基于同构型环境的认知无线网络拥塞控制算法

李 云, 王学军

(桂林航天工业学院 电子工程系, 广西 桂林 541004)

摘 要: 针对认知网络的学习环节和行动环节, 提出了一种新的接入模型. 根据同构型环境下的主节点存在区域, 通过构造次级节点接入以获得主网络节点最大化吞吐量的目的. 在此基础上, 对同构型的认知网络建立了拥塞控制算法 TCP-Vegas. 最后, 以实际数据对网络性能进行仿真评估, 结果表明该算法能够较好地指导认知网络的决策与行动.

关键词: 认知网络; 拥塞控制; 吞吐量; TCP-Vega

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)10-0013-04

Cognitive Wireless Network Congestion Control Algorithm Based on Homogeneous Environment

LI Yun, WANG Xue-jun

(Department of Electronic Engineering, Guilin University of Aerospace Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: A novel access model is proposed for the learning and action of cognitive network in this paper. With homogeneous environment master node region, the maximize throughput of main node in network is got by secondary node access. Based on this model, the congestion control algorithm of TCP-Vegas is presented by cognitive network homogeneous network. Finally, a simulation with actual data is estimated for network performance, and result shows that, it is better guidance of cognitive network decision and action.

Key words: cognitive network; congestion control; throughput; TCP-Vegas

1 引言

认知无线网络^[1-3]是在感知无线电技术基础上形成的网络形态, 具有高度的智能化能力, 能感知网络的环境信息和分辨当前的网络状态, 并根据这些状态进行相应的规划、决策和响应, 其目的是为了提高端到端性能. 认知网络可以理解为能够通过学习和推理, 使得其网元动态自适应于各种变化的网络环境, 可以实现网络端到端的性能优化^[4-6], 其学习和推理的过程是建立在认知的基础上的. 为了优化认知网络端到端的性能, 需要对网络的状态定量与定性的评估, 提出 TCP-vegas 网络拥塞控制算法^[5-6]. 图 1 为认知循环图. 从图中分析, 认知网络的端到端的性能优化, 不仅仅取决于链路的适应性,

还在于对环境认知的反应. 在从 A 端路由传送到 B 端路由的过程中, 需要认知网络的节点情况, 对网络节点定性定量的评估, 从而计划、决策、执行, 更好地适应外部环境的变化. 然而, 网络发生拥塞控制, 却无法迅速的给出响应^[7-8]. 因此, 提高认知网络的端到端的优化性能, 在同构环境网络中, 提出了 TCP-Vegas 算法, 很好地减少了网络的拥塞.

2 认知无线网络同构型环境的吞吐量模型

时间、空间、频率相同的同构网络, 随机分布 n 个主用户的同时也随机分布着 m 个次级用户. 主用户主要采用授权接入频谱, 次级用户在认知的前提下, 调整协议接入该区域, 对主用户的吞吐量造成微小的影响. 通过在主用户的接收端引入一个保护区

收稿日期: 2013-02-07; 修回日期: 2013-04-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(10662002)

域,调整认知用户的多跳路由协议,从而很好地减少了次级用户接入对主用户吞吐量的损失.其系统中的主用户和次级用户随机分布如图 2 所示.假设在一个平面区域内主用户网络节点和次级用户网络节点共存.其中,主用户的无线网络节点按照泊松定理分布,每平方米是 N 个,随机形成了主 S-D 端 (source 源端 - 目的端 destination); 次级用户的网络节点按照泊松定理分布,每平方米 M 个,随机形成次级 S-D 端.主节点和次级节点密度分布之间存在着以下关系:

$$M = N^\beta \quad (1)$$

式中, $\beta > 0$, 则次级用户的密度将大于主用户的密度.在不考虑信道遮蔽和衰减的情况下,只考虑信道的距离,则在 Tx 和 Rx 之间的信道的增益:

$$g(d) = d^{-\alpha} \quad (2)$$

式中, d 表示 Tx 和 Rx 之间的距离, $\alpha > 2$ 表示信道衰减系数.

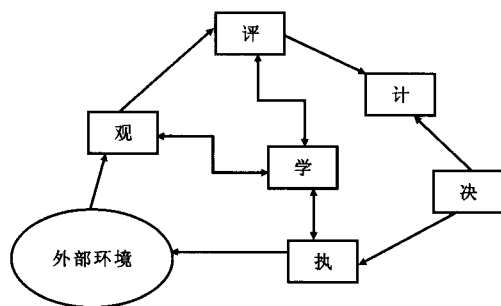


图 1 认知网络循环图

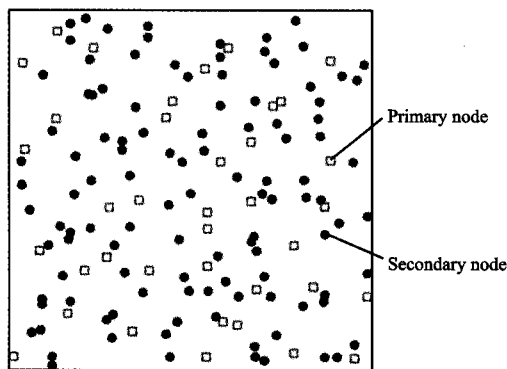


图 2 主用户和次级用户的随机分布图

主、次级网络采用时隙传输.假设每个时隙和编码系列的信道上存在加性高斯白噪声(AWGN),则信道容量 $R = \log(1 + \text{SINR}) \text{bps/Hz}$.在主时隙和从时隙具有相同的时间间隔和彼此同步的情况下,主、从节点的传输功率为 P .令 N_p 个主节点端和 N_s 个从节点端,则有主节点端的通信速率为

$$R_p^i = \log\left(1 + \frac{P_p^i g(\|X_{p,tx}^i - X_{p,rx}^i\|)}{N_0 + I_p^i + I_{ps}^i}\right) \quad (3)$$

其中, I_p^i 和 I_{ps}^i 为

$$I_p^i = \sum_{k=1, k \neq i}^{N_p} P_p^k g(\|X_{p,tx}^k - X_{p,rx}^i\|) \quad (4)$$

$$I_{ps}^i = \sum_{k=1}^{N_s} P_s^k g(\|X_{s,tx}^k - X_{p,rx}^i\|) \quad (5)$$

那么, j th 的次级用户的通信速率为

$$R_s^j = \log\left(1 + \frac{P_s^j g(\|X_{s,tx}^j - X_{p,rx}^j\|)}{N_0 + I_s^j + I_{ps}^j}\right) \quad (6)$$

其中, I_{ps}^j 和 I_s^j 为

$$I_s^j = \sum_{k=1, k \neq j}^{N_s} P_s^k g(\|X_{s,tx}^k - X_{s,rx}^j\|) \quad (7)$$

$$I_{ps}^j = \sum_{k=1}^{N_p} P_p^k g(\|X_{p,tx}^k - X_{s,rx}^j\|) \quad (8)$$

因此,主网络和次级网络的吞吐量可描述如下:

(1) 在次级网络节点存在的情况下,主网络节点的源端和目的端以 $T_p(n)$ (bps/Hz) 的速率进行通信,则每个主网络节点的吞吐量可以达到 $T_p(n)w. h. p$.

(2) 当 $\epsilon_s(m) > 0$, 次级网络节点在主网络节点存在的情况下,每个次级网络节点的 $T_s(m)$ 吞吐量可达到 $\epsilon_s(m)w. h. p$, 次级网络源端到目的端的通信速率为 $T_s(m)$ (bps/Hz).

(3) 当主网络与次级网络均共享同一频谱时,其共存规则对吞吐量的影响相当大.主网络用户授权接入信道,比次级网络具有较高的优先级别.因此,主网络与次级网络同享一信道时,主网络不需要更改协议与功耗.即所有在这个区域中的主网络 S-D 端通信时,可以不用考虑次级网络 S-D 端的存在.并且次级网络在不干扰主网络吞吐量时,选择可接入的层,以扩大其吞吐量.这种可接入层并不是主网络的数量级,并存在以下的关系:

$$\frac{T_p(n)}{T_{\text{alone}(n)}} \geq 1 - \delta_{\text{loss}} \quad (9)$$

3 认知无线网络同构型环境下的拥塞控制算法

TCP 是目前 Internet 网络中广泛采用的传输控制协议,它为 Internet 用户提供了可靠的端到端的数据通信服务, TCP 是一种滑动窗口协议,一旦发现报文丢失, TCP 源端立即启动拥塞控制,降低发送速率.认知无线网络需要对无线接入的吞吐量有一定的先验信息,通过 TCP-Vegas 机制调整拥塞控制窗口,从而指导网络进行规划、决策和行动. Vegas 使用三个方法来增加传送的吞吐量,并减少

封包遗失的发生. 结合同构型认知无线网络, 本文提出了如下拥塞控制方法:

(1)新的重传机制. 当一个封包被目的端接收时, 目的端会根据收到的封包的号码返回一个 ACK 表示这个封包已经收到; 若收到非连续的封包时, 则返回号码相同的 ACK, 称为重复的 ACK. TCP 会根据封包被送出及返回的时间计算出封包平均的传送 RTT 时间. Vegas 改进重送机制, 以便能及早检测是否有封包遗失并立即重送遗失的封包. 每当收到一个重复的 ACK, Vegas 会特别注意 RTT 是否有大于超时的值, 以检查是否有超时发生, 如果有, 则不需要等待经过 3 个重复的 ACK, Vegas 就会直接重送此封包. 其次, 遗失的封包被重送并返回新的 ACK 时, Vegas 也会特别注意第一个或第二个返回的 ACK, 以检测随后的封包是否已超时, 并重送遗失的封包.

(2)新的拥塞避免机制. Vegas 通过观察 RTT 的变化来控制 cwnd 的大小. $\text{Diff} = \text{Vegas}$ 根据预期传送来和实际传送来之间的差异值来调整 cwnd 的大小. 当 Diff 的值大于 β 值时, 意味着传送的速率太快, 因此应该减低 cwnd 的值以减缓传送的速率, 反之当 Diff 的值大于 α 时, 则加大 cwnd 的值, 以增加传送的速率.

(3)修改 slow-start 阶段, Vegas 减慢了 cwnd 的增加速率. Vegas 修改了 TCP 的 slow-start 算法, 这个阶段中, cwnd 的值大约在经过两个 RTT 时间后才会增加 1 倍. 根据预期传送率和实际传送率之间的差异值来调整 Sstresh, 当 Vegas 检测到网络有队列产生时, Vegas 就由 slow-start 进入 congestion avoidance 阶段.

4 仿真实验

通过 NS2 仿真软件搭建模拟认知无线网络环境, 假设系统中存在一个主用户和一个次级用户, 同构环境下的网络拓扑图如图 3 所示. 主用户和次级用户的接入和离开服从泊松分布, 仿真 TCP-Vegas 的拥塞控制机制. 令 $\alpha=1, \beta=3$, 并且网络参数设置如下:

```
set tcp0 [new Agent/TCP/Vegas];
$ns attach-agent $n0 $tcp0;
$tcp1 set v_alpha_1;
$tcp1 set v_beta_3;
```

这里采用 gnuplot 观察 cwnd 的变化情况, 结果如图 4 所示. 从图中可以看出, 第一条 Vegas 从 0s

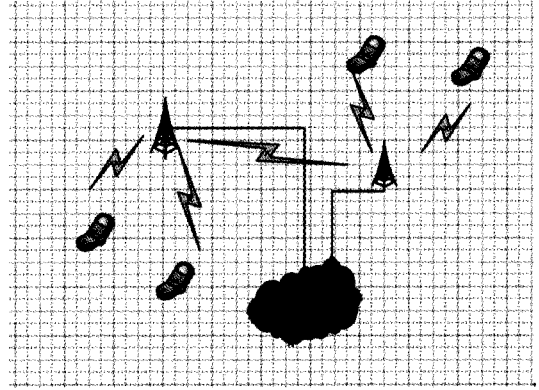


图3 认知无线网络的同构环境下的网络拓扑图

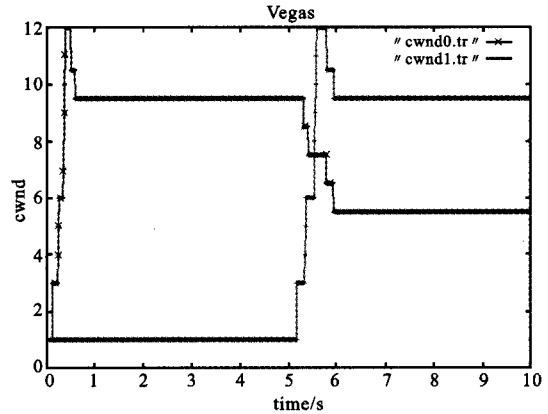


图4 cwnd变化情况

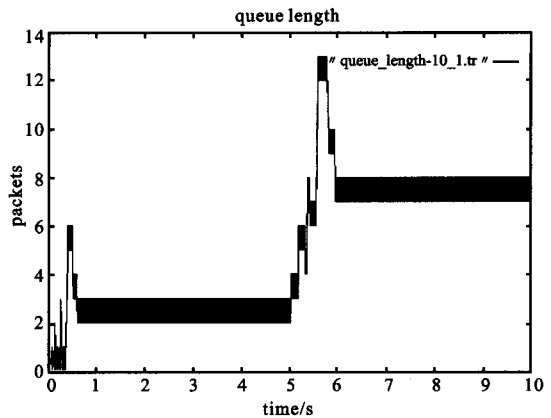


图5 流量变化情况

开始执行, 10 s 结束. 第二条 Vegas 在 5 s 时候才开始执行, 10 s 结束. 在 slow-start 阶段, cwnd 的值大约两个 RTT 才会增加 1 倍. 当 Diff 的值介于 α 和 β 之间时, Vegas 的 cwnd 会维持在一个稳定的状态, 这里分析记录文件来观察队列的变化. 值得注意的是, 实时有两条以上的联机存在网络上时, Vegas 能够维持稳定状态, 不会因传送过快而造成包丢失. 同时, 从图 5 可以看出, 两条 TCP Connection 在 6 s 之后, 对于带宽使用状况具有较大差异. 这是因为当网络上持续都有其它流量存在时, 较晚进入网络的

TCP Connection 量达到 Minimal RTT 时就很难识别. 其次, 当 Diff 的值介于 α 和 β 之间时, cwnd 的值变化较小.

5 结束语

本文针对同构型环境下的认知无线网络进行了性能评估, 从而提供网络在下一时刻的学习、决策和动作. 在无线接入中考虑了主用户和次级用户共享频谱的同构网络环境, 提出了主、次级用户之间吞吐量的估算准则. 同时, 基于无线认知网络接入可得吞吐量模型, 提出了一种新的拥塞控制机制. 仿真实验发现, 该算法有效地解决了端到端的性能优化问题. 在后续研究中, 可以考虑结合 BLUE、PID 等方法建立一套完整的认知无线网络拥塞控制模型.

参考文献:

- [1] 余亮, 江涛, 曹洋. 系统服务等级约束下提高认知无线网络可达业务负荷的研究[J]. 通信学报, 2012, 33(11): 24-32.
- [2] Chowdhury K R, Akyildiz I F. Cognitive wireless mesh networks with dynamic spectrum access [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(1): 168-181.
- [3] Gao J, Suraweera H A, Faulkner M. Comments on a analysis of cognitive radio spectrum access with optimal channel reservation [J]. IEEE Trans Wireless Commun, 2009, 8(9): 4488-4491.
- [4] Zhu X, Shen L. Analysis of cognitive radio spectrum access with optimal channel reservation [J]. IEEE Commun Lett, 2007, 11(4): 304-306.
- [5] 贺倩, 冯志勇, 张平. 基于人工智能技术的认知无线网络重构决策算法[J]. 通信学报, 2012, 33(7): 96-102.
- [6] Tang S, Mark B L. Modeling and analysis of opportunistic spectrum sharing with unreliable spectrum sensing [J]. IEEE Trans Wireless Commun, 2009, 8(4): 1934-1943.
- [7] Srinivasa S, Jafar S A. The throughput potential of cognitive radio: a theoretical perspective [J]. IEEE Commun Mag, 2007, 45(5): 73-79.
- [8] Tang P K, Chew Y H. On the modeling and performance of three opportunistic spectrum access schemes [J]. IEEE Trans Veh Tech, 2010, 59(8): 4070-4078.
- [3] Oo M Z, Othman M. Performance comparisons of AOMDV and OLSR routing protocols for mobile Ad hoc network [C]//Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Communications and Mobile Computing, Bali Island: IEEE Computer Society, 2010: 129-133.
- [4] 王鲁光, 贾智平, 李新. AODV 和 AOMDV 路由协议性能分析与比较[J]. 计算机应用, 2010, 30(3): 740-744.
- [5] 肖克江, 熊忠阳, 张玉芳. 多径路由协议 AOMDV 的改进与性能分析[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(6): 99-101.
- [6] Perkins D D, Hughes H D, Owen C B. Factors affecting the performance of Ad Hoc networks [C]// IEEE International Conference. San Jose, 2002 (4): 2048-2052.
- [7] 焦佳佳, 付宇卓. 一种新的自适应负载均衡的 QoS 多径路由机制[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(6): 72-75.
- [8] 柯志亨, 程荣祥, 邓德隽. NS2 仿真实验-多媒体和无线网络通信[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.

作者简介:

李云 女, (1978-), 硕士, 副教授. 研究方向为网络优化.
王学军 男, (1978-), 讲师. 研究方向为信息安全.

作者简介:

郭俊 男, (1973-), 硕士, 讲师. 研究方向为计算机网络性能与信息技术教育.

(上接第 12 页)