

MAC与TCP跨层的认知无线网络传输性能增强^①

黄昌平, 赵利

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 桂林 541004)

摘要: 认知无线网络中, 认知用户需要具备频谱感知的功能, 在主用户到来时, 可以实现动态频谱切换, 从而不影响主用户的通信. 但是频谱感知和切换带来的时延可能使认知用户 TCP 频繁的启动慢启动, 而影响传输性能. 提出的 TCP-CWN(TCP for cognitive wireless network 认知无线网络 TCP)算法, 通过 TCP-MAC 跨层可以消除由于频谱感知和切换带来的慢启动问题. 本方案在 NS2 上进行仿真, 实验结果显示在认知环境下 TCP-CWN 能很好的缓解由于频谱感知对传输的影响, 提高认知用户的传输吞吐量.

关键词: 认知无线网络; TCP; MAC; 跨层; 频谱感知

TCP Enhancement For Cognitive Wireless Network Based on MAC and TCP Cross-Layer

HUANG Chang-Ping, ZHAO Li

(Software-defined Radio Lab, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to have a little affect on primary users' transition, the second users have to be switched to another channel by the time the primary users come, therefore, the function of sensing should be attached to cognitive code in cognitive wireless network. The slow-start in TCP of cognitive code, however, is caused by the sensing and switching delay, which slow down transit-rate sharply. In this paper, TCP-CWN was proposed to get rid of the frequently slow-start. The algorithm was simulated in NS2, the experimental result illustrated that the TCP-CWN has better performance improvement than TCP when comes to transition in terms of reducing the influence of spectrum handoff in cognitive wireless network.

Key words: cognitive wireless network; TCP; MAC; cross-layer; spectrum sensing

1 引言

为了更有效的利用无线频率信道, 研究者们提出了认知无线网络的概念. 认知无线网络中存在两种用户: 主用户和认知用户. 主用户对信道具有优先使用权, 认知用户借用主用户信道. 这就要求认知用户需要具备频谱感知和信道切换的能力, 当主用户接入当前信道时, 认知用户能感知到, 并进行及时的切换.

但是对于认知节点来说, 频谱感知和信道切换带来的一系列问题, 如传输延时和数据包超时重传等, 是传统 TCP 协议在认知网络中面临的主要问题. 认知用户由于频谱感知导致 RTT 出现突变, 可能导致数据包传输超时, 这时网络会认为发生了拥塞, 传输层开

始慢启动, 降低了发送速率, 从而使带宽得不到有效的利用. 同时, 频谱感知的时间和周期对认知用户的传输速率也有很大的影响^[1], 感知时间越长, 检测到主用户的可能性越大, 但减少了认知用户的传输时间, 降低了发送速率. 感知时间越短, 情况相反.

在频谱感知结束后, 需要进行信道切换^[2], 但由于各种原因, 如路由切换失败, 无可信道切换等, 可能导致感知后, 新的信道没法建立的问题, 可能会导致丢包. 虽然有很多 TCP 算法被提出来区分拥塞丢失和比特错误丢失^[3], 但是在认知网络环境下数据包的丢失更加的复杂, 仅仅依靠传输层协议来判断和被动的修复丢失数据是不够的.

^① 收稿时间:2011-12-09;收到修改稿时间:2012-01-09

研究表明,在现有协议架构上,跨层协作是目前解决认知无线网络中频谱感知与切换影响网络性能的最现实的途径。但是,现有文献[4,5]提出的方法大多通过下三层的跨层,并优化感知和切换,从而提高上层的性能,没有将下层如 MAC 层和上层如 TCP 层联合跨层实现信息共享来提高吞吐量。文献[6]通过 TCP 层传输预判,确保数据包在感知后不会超时重传,但是它将感知时间引入 RTT,这会造成 RTT 抖动比较大。

针对认知无线网络频谱感知和切换带来的问题,基于 MAC-TCP 跨层的新算法 TCP-CWN,通过 RTS/CTS 包头感知信息携带,跨层通知 TCP 层做出相应处理,可以有效减少由于周期性频谱感知与切换过程带来的影响,提高认知用户端到端的传输性能。

2 TCP-CWN算法

2.1 总体方案

TCP-CWN 算法通过修改的 RTS/CTS 帧建立跨层通道,在认知无线网络环境下实现 TCP 层与 MAC 层的信息共享,MAC 层采用计时器控制方式,模拟感知过程。调整重传时间等 TCP 参数,改进 TCP 重传机制,避免频繁慢启动对网络性能的影响。

2.2 跨层协作机制

TCP-CWN 综合考虑 MAC 层频谱感知和切换与 TCP 层拥塞控制。在认知节点通信开始,数据处于正常接收状态。这里 MAC 层通过两个计时器来描述数据的通信过程,分别是频谱感知计时器和数据传输计时器,感知计时器开始的同时,MAC 层暂停所有计时器,并将开始消息通过跨层通知 TCP 层, TCP 得知这个信号后,将重传时间设为正常超时时间与感知时间的和,但不用这个时间来更新 RTT,同时,停止传输数据。频谱感知结束,MAC 在 RTS/CTS 帧交互后,确保链路建立,并通过跨层将新信道信息告诉 TCP 重新开始传输数据。跨层协作如图 1: 图中,实线为数据传输方向,虚线为跨层通道。

2.3 跨层通道设计

RTS/CTS 是用于协调媒介控制权的控制帧,主要用于 DFC 中。在传输数据包之前,发送站点会发送 RTS(Request-To-Send)短帧,去竞争信道。目的站在收到 RTS 帧后会发送 CTS(Clear-To-Send)作为响应,如果发送站点成功接收到正确的 CTS 帧,则表明新信道建立,可以传输数据。

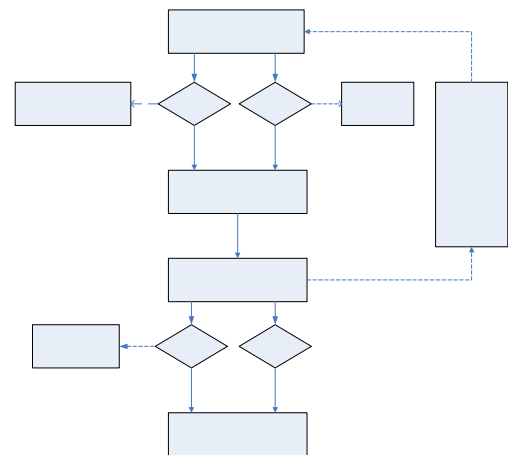


图 1 跨层协作示意图

在认知无线网络中,RTS/CTS 帧交互在协调可用信道时也起了相当大的作用,它可以方便携带信道信息,使用非常灵活。因此本算法在 RTS/CTS 帧中添加一个感知段(Sense_)来标记频谱感知的启停,通过 Sense_信号通知 TCP 层数据传输的启停,来实现跨层通道的设计。帧结构如图 2;

原 RTS/CTS 帧结构



修改后 RTS/CTS 帧结构

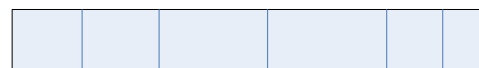


图 2 RTS/CTS 帧结构

2.4 TCP 协议改进

标准 TCP 要经历三个过程:慢启动指数增加;拥塞避免线性增长;数据丢失乘性减少。标准 TCP 算法,在感知发生时发生的超时重传,会被误认为是拥塞所致,从而启动慢启动,并将拥塞窗口值降为 1,这将导致发送端最多只能传输一个数据包到网络中。文献[7]提出 Padhye 吞吐量模型,建立了 TCP 发送速率 B 和丢失率 p 、往返时间 RTT 、累积因子 b 、重传超时 T_0 以及最大拥塞窗口 W_{max} 之间的关系:

$$B \approx \min \left(\frac{W_{max}}{RTT}, \frac{1}{RTT \sqrt{\frac{2bp}{3} + T_0 \min(1, 3\sqrt{\frac{3bp}{8}}) p(1+32p^2)}} \right)$$

在丢失率较低的情况下,即 $B \approx \frac{W_{max}}{RTT}$, 拥塞窗口

的减少会直接导致发送速率的降低,而在丢失率较高时,由于感知前后实际链路很可能没有发生拥塞,这时减少投入到网络中的数据包,同样会降低发送速率,使信道得不到有效利用.因此,需要改进标准 TCP 算法,当 TCP 收到感知开始信号时,停止传输数据,记录当前已发送的最大报文段序号,并将重传时间设为正常超时时间和感知时间的和,这样受感知延时的数据包不会因为感知延时而重传.感知结束,MAC 层通过 RTS/CTS 帧建立链路后,通过 CTS 帧带回来的 sense_信号跨层告诉 TCP 重新开始传输数据,且对于发送端收到的 ACK 序号小于感知前记录的发送序号的数据包,不用来更新 RTT.

3 仿真结果及分析

3.1 仿真工具及参数选择

方案采用 NS2 作为仿真工具,在认知网络环境下进行仿真,性能评估参数选取拥塞窗口(cwnd, congestion window),它是传输层发送端可发送的最大报文段窗口值,此值越大,一次性能投入到网络中的报文段数越多,信道利用率越高.

仿真对 TCP-CWN 算法和改进前的 TCP 算法进行拥塞窗口(cwnd)的比较,考虑在相同丢失率,不同感知时间下;相同感知时间,不同丢失率两种情况下 TCP-CWN 算法的优势.仿真都采用 TCP/FTP 连接方式,具体参数见表 1.

表 1 仿真参数环境

参数名	参数值
传播模型	TwoRayGround
Mac 类型	Mac/802_11
路由协议	AODV
节点数	2
数据包大小	512 字节
主用户传输范围	400m*400m
认知用户传输范围	300m*300m
仿真时间	30s
感知周期	2s

3.2 仿真结果与分析

3.2.1 相同丢失率,不同感知时间下的 cwnd 比较

从图 3、4 的比较当中可以看出,仿真打印间隔为 0.01s.在理想的情况下,没有引入新协议时,由于每次感知几乎都引起超时重传,导致频繁的慢启动,以至

cwnd 处在一个很低的阶段波动.而 TCP-CWN 算法,在感知后,没有进行慢启动,窗口 cwnd 值明显高于 TCP 算法.在不同感知时间下,如感知时间为 0.2 秒时图 3,感知时间较短,并没有导致每次感知后数据包都超时重传,而当感知时间逐渐加大,这里取 0.4 秒图 4,每次感知后,都发生数据包超时重传,这说明感知时间对 TCP 算法影响较大.而对于 TCP-CWN 算法,感知时间的增大,只是使 cwnd 上升的慢一些,这说明 TCP-CWN 算法能更好的适应感知时间的变化.

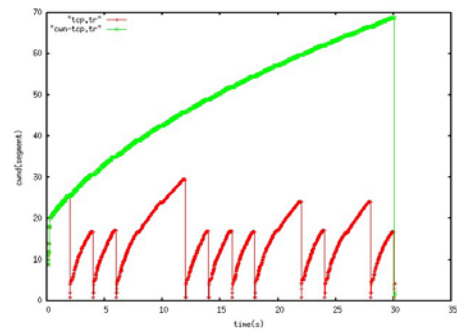


图 3 感知时间 0.2s, TCP-CWN 和 TCP 比较

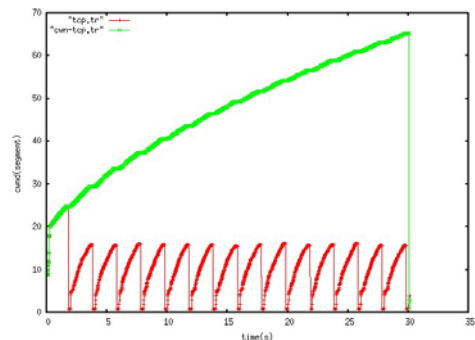


图 4 感知时间 0.4s, TCP-CWN 和 TCP 比较

3.2.2 相同感知时间,不同丢失率下的 cwnd 比较

图 5—图 8 都是在相同感知时间(0.4S),采用 TCP-CWN 算法和 TCP 算法仿真得到的结果.从以上结果图可以看出,在高数据包丢失率下(如图 7、8),对于 TCP 算法,由于可能在感知前有数据包丢失,致使 RTO 翻倍,这可能使得数据包丢失后的第一个感知过程没有引起数据包超时重传,致使 cwnd 出现一段比较长时间的增加.而随着丢失率的下降,这种情况出现的可能性越来越小. TCP-CWN 算法可以避免由于频谱感知和切换导致的超时,感知后能保持一个大的拥塞窗口值,但是算法没有针对链路数据丢失采取任何改进措施,每次丢包都会导致 cwnd 下降,随着数据丢失率的提高, cwnd 下降比较大.然而,从总体上来说,

TCP-CWN 算法还是优于 TCP 算法, 而且丢失率越小, 这种优势越明显.

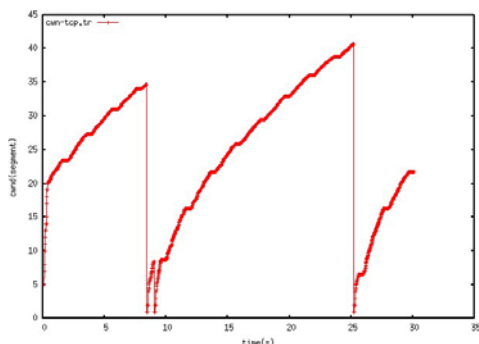


图 5 5%丢失率下 TCP-CWN

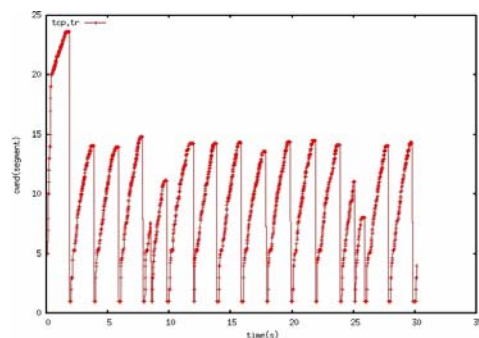


图 6 5%丢失率下 TCP

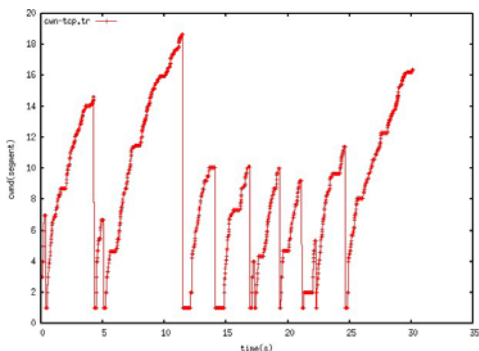


图 7 20%丢失率下 TCP-CWN

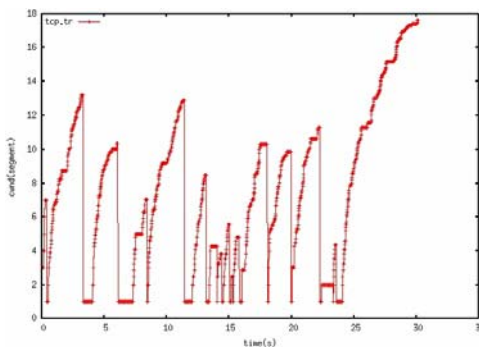


图 8 20%丢失率下 TCP

4 结论

现有的 TCP 层和 MAC 层协议基本不能满足在认知环境下的通信, 如何解决认知网络带来的一系列难题, 是目前网络研究领域内的一个热题. 本文提出的新算法 TCP-CWN 缓解了认知环境下, 由于频谱感知和切换导致认知用户传输性能下降的问题. 通过 MAC-TCP 之间的信息交互, TCP 层能很好的利用下层感知到的信息来进行相应的调整, 减少数据重传, 提高了通信性能.

参考文献

- 1 Slingerland A, Pawelczak P, Prasad V. Performance of Transport Control Protocol Over Dynamic Spectrum Access Links. Dublin, Ireland: Proc. of IEEE DYSPAN. 2007, 486-495.
- 2 Chowdhury K, Di Felice M, Akyidiz I. TCP-CRAHN: A transport protocol for cognitive radio ad hoc networks. Rio de Janeiro, Brazil: IEEE INFOCOM, [s.n.], 2009, 2482-2490.
- 3 Sooriyabandara K, Mahesh P, Luli. Improving TCP performance in wireless networks by classifying causes of packet losses. Wireless Communications and Networking Conference, April, 2009.
- 4 Wang J, Huang YQ. A cross-layer design of channel assignment and routing in cognitive radio networks. Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 3rd IEEE International Conference, 2010, 542-547.
- 5 Luo CQ, Yu F, Hong JI, Leung U. Cross-layer design for TCP performance improvement in cognitive radio networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 2485-2495.
- 6 李志高, 周音, 孙学斌, 周正. 认知无线网络中一种改进的传输层协议. 无线电工程, 2011, 41(10): 13-16.
- 7 Padhye J, Firoiu V, Towsley D, Kurose J. Modeling TCP Reno Performance: A Simple Model and its Empirical Validation. Proc. of SIGCOMM'98. SIGCOMM, 1998.