

带有碰撞感知的MANET可用带宽估计方法

吴大鹏¹, 武穆清², 甄岩², 孙兵²

(1. 重庆邮电大学光纤通信重点实验室 重庆 南岸区 400065; 2. 北京邮电大学宽带通信网实验室 北京 海淀区 100876)

【摘要】准确获知当前可用带宽信息是更加合理、有效使用Ad hoc网络资源的前提。该文提出了一种基于数据帧重传预测的Ad hoc网络可用带宽估计方法。该机制通过平均竞争窗口大小估计数据帧碰撞以及重传情况, 进而通过多个节点协同工作的方式来估计当前可用带宽。仿真结果表明基于平均竞争窗口的估计方法能够比较准确地估计碰撞情况, 采用该机制所估计的可用带宽数值与实际测量值比较接近。

关键词 Ad hoc网络; 带宽; 竞争窗口; 网络分配向量

中图分类号 TP393.04

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.06.029

Collision Aware Bandwidth Estimation Mechanism in MANET

WU Da-peng¹, WU Mu-qing², ZHEN Yan², and SUN Bing²

(1. The Key Lab of Optical Fiber Communication Chongqing University of Posts and Telecom Nanan Chongqing 400065;

2. Broadband Communication Network Lab, Beijing University of Posts and Telecommunications Haiding Beijing 100876)

Abstract Accurate estimate of available bandwidth can make the Ad hoc network resources be used reasonably and effectively. A novel available bandwidth estimation mechanism based on frame retransmission prediction is proposed. The average size of contention window (CW) is used to evaluate the collision status and the number of frames that need to be retransmitted, and the estimation procedure is accomplished with the method of cooperation between mobile nodes. Results show that the method based on the average size of contention window can evaluate the frames collision status on the link with reasonable accuracy.

Key words Ad hoc networks; bandwidth; contention window; network allocation vector

随着多媒体应用的普及, 在Ad hoc网络中为其提供服务质量保障成为当前国内外的研究热点。对于多媒体业务来说, 可用带宽是非常重要的服务质量参数。通常, 在不影响网络中正在传输的数据流的前提下, 将两个节点之间能够用于数据传输的最大吞吐量定义为可用带宽^[1-2]。

Ad hoc网络的信道具有非对称性, 节点发送的数据帧和控制帧将影响载波感知范围内的其他节点; 同时, 节点捕获信道过程中有可能执行回退过程, 回退时间根据随机数来计算, 无法对其准确地预测; 另外, 数据帧碰撞随机发生, 难于采用明确的函数描述连续时间域内的数据帧碰撞情况。可见Ad hoc网络的可用带宽受到多个因素影响^[3], 估计方法需要综合考虑上述各种因素。

1 相关工作

BRuIT协议^[4]是Ad hoc网络中比较典型的被动

式带宽估计机制。节点在两跳范围内广播Hello包, 成功接收到Hello包的节点将返回本地观测的信道利用情况, 源节点根据该段时间内信道使用情况估计可用带宽。该机制有效地降低了链路非对称性对可用带宽估计的影响, 但也存在严重的缺陷。由于整个载波感知区域内的所有节点都将影响可用带宽, 简单的采用跳数对载波感知区域进行近似估计之后所得到的结果并不准确。如当节点密度较大时, 载波感知区域内可能包含多跳链路。

在BRuIT协议的基础上, 文献[5]提出了CACP协议, 其采用提高节点传输功率的方法使需要估计带宽的节点能够获得载波感知区域内的各个节点处信道使用情况。这种方法虽然解决了节点不能与载波感知区域内、传输区域外的节点直接通信的问题, 但是该方法将会消耗过多的节点能量, 使得干扰模型和频率重用模型更加复杂。

另外, IEEE 802.11标准中定义了虚拟载波感知

机制, 节点可以通过网络分配向量(network allocation vector, NAV)来获知信道使用情况。文献[6-7]都采用了NAV机制对信道利用情况实时监测, 从每个节点的角度计算特定时间段内信道的占用情况, 进而估计可用带宽。但是这些机制中普遍没有考虑数据包传输过程中发生的碰撞对带宽估计值的影响, 所得到的结果并不准确。

2 可用带宽估计方法

可用带宽主要受到信道利用情况、碰撞概率以及回退时间3个因素的影响。本文分别采用信道监测机制和碰撞预测方法估计信道利用情况及数据帧碰撞概率, 结合节点所记录的回退过程历史数据, 提出了一种被动式可用带宽估计方法。

2.1 信道监测机制

根据虚拟载波监听机制, 节点在竞争信道的过程中将其需要占用信道的的时间放入控制帧中进行广播, 监听到该信息的节点按照其中的占用时间字段设置NAV, 以预留信道^[8-10]; 另外, 节点在所使用的各种帧间间隔内不能发送控制帧和数据帧, 因此对于带宽估计过程, 信道在传输过程中的各种间隔时间也属于繁忙状态。

从而, 监听到RTS的节点通过NAV信息能够获知信道不可用的时间为:

$$T_d = T_{RTS} + NAV_{RTS} + T_{DIFS} + T_{backoff} \quad (1)$$

可见, 采用虚拟载波监听机制来监听信道的节点通过NAV信息能够获得除了 $T_{backoff}$ 的全部信息, 也就是说, 通过累计NAV持续时间, 节点可以获知特定时间段内信道利用情况。

无线链路具有非对称特性, 相同链路上的两个节点对信道的监测结果并不相同, 本文采用多个节点协同工作的方式来降低无线链路非对称性对估计结果的影响。节点将包含NAV持续时间字段加入路由维护所使用的Hello消息中周期性广播, 需要估计可用带宽的节点根据所收集信息计算信道利用情况。该方法并没有在网络中引入新的数据包以及控制包, 只是将长度增加了32位, 本文后面部分将会分析Hello包长度改变之后对网络造成的影响。

2.2 数据帧碰撞预测

IEEE 802.11标准采用分布式协调功能(distributed coordination function, DCF)来管理多个节点共享的无线媒介, DCF允许兼容的物理层之间通过使用CSMA/CA以及相关的退避机制来自动访问媒介。若由于隐藏节点等原因使得节点处的数据

帧发生碰撞, 则节点将竞争窗口(CW)加倍, 直至到达最大竞争窗口 CW_{max} , 显然竞争窗口能够准确地反映节点处的碰撞情况。

节点发送数据帧过程可表示为:

$$P(X = k) = \begin{cases} p_c^k (1 - p_c) & k \leq R_L \\ p_c^k & k = R_L + 1 \\ 0 & k > R_L + 1 \end{cases} \quad (2)$$

式中 p_c 为数据帧发生碰撞的概率; X 为碰撞次数; R_L 为协议中预先设定的最大重传次数, 满足条件 $CW_{max} = 2^{R_L} \cdot CW_{min}$ 。

节点竞争窗口与碰撞概率间的关系表示为:

$$\begin{aligned} \overline{W}_c = & (1 - p_c) \cdot CW_{min} + p_c \cdot (1 - p_c) \cdot 2CW_{min} + \\ & \dots + p_c^k (1 - p_c) \cdot 2^k CW_{min} + p_c^{R_L+1} \cdot 2^k CW_{min} = \\ & \frac{(1 - p_c)(2p_c)^{k+1} + 2^k (1 - 2p_c)p_c^{R_L+1}}{1 - 2p_c} CW_{min} + \\ & \frac{1 - p_c}{1 - 2p_c} CW_{min} \end{aligned} \quad (3)$$

式中 CW_{min} 为竞争窗口最小值, 显然式中的 $(1 - p_c)(2p_c)^{k+1}$ 和 $2^k (1 - 2p_c)p_c^{R_L+1}$ 两项较小, 在具体计算过程中将其忽略。节点可以直接利用本地监测的平均竞争窗口大小 \overline{W}_c 以及 CW_{min} 预测碰撞概率:

$$p_c = \frac{\overline{W}_c - CW_{min}}{2 \times \overline{W}_c - CW_{min}} \quad (4)$$

数据帧平均重传次数可表示为:

$$\begin{aligned} n = & \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot P(X = k) = \sum_{k=1}^{R_L} k \cdot P(X = k) = \\ & \sum_{k=1}^{R_L} k \cdot p_c^k (1 - p_c) + (R_L + 1)p_c^{R_L+1} \end{aligned} \quad (5)$$

需要重传的数据帧将被作为新的数据帧重新接入信道, 因此, 在带宽估计过程中需考虑重传数据帧的影响, 若令 N_p 为监测时间段内业务所产生的数据帧数量, 则信道上需要传输的数据帧数量 N_s 为:

$$N_s = N_p + p_c N_p n \quad (6)$$

综上所述, 节点可以根据平均的竞争窗口感知传输过程中链路上发生的碰撞情况, 进而预测需要重传的数据帧数量, 估计监测时间内信道占用时间。

2.3 可用带宽估计机制

节点接入信道过程中, 首先调用载波监听机制确定当前媒介状态, 若繁忙, 则节点生成随机退避时间以推迟发送。回退时间由伪随机数产生, 节点在回退过程中依然需要判定信道状态, 若信道处于繁忙状态, 则挂起回退过程, 可见节点回退状态带有较强的随机性, 难于对回退时间准确估计。本文

选择统计平均方法获得带宽估计过程中的回退时间参数。

网络中各个节点记录本节点在监测时间内的回退持续时间和回退次数, 带宽估计节点收集其邻居节点广播的Hello包, 并且从该包中获得NAV信息, 得到监测时间段内信道处于繁忙状态的总时间。得到可用带宽的表达式为:

$$B = \frac{T_M - \sum_{i=1}^{N_s} (NAV_i + T_{DIFS} + T_{RTS}) - T_{backoff}}{T_M} C \quad (7)$$

式中 C 为链路数据速率; $T_{backoff}$ 为通过上述统计平均方法获得的监测时间段内回退时间。

3 仿真结果分析

本文使用OPNET仿真平台对可用带宽估计机制的准确性进行验证, 其仿真参数设置如表1所示。

表1 仿真参数

参数	数值	参数	数值
场景/m ²	1 500×1 000	SIFS长度/μs	10
节点数/个	35	数据速率/Mb·s ⁻¹	11
传输范围/m	250	重传次数	7
数据流间隔/s	10	仿真时间/s	200
时隙长度/μs	20	RTS长度/bit	160

当Hello消息长度发生变化时, 所发生碰撞的概率也随之改变。原始长度的Hello包与改变后的Hello包在不同时间间隔情况下, 所导致的碰撞概率如表2所示。

表2 Hello包碰撞情况

Hello间隔/s	0.5	1.0	2.0	3.0
碰撞概率-原始(%)	70.2	40.6	17.4	13.3
碰撞概率-改变(%)	74.1	41.9	19.2	14.8

从表2可知, 对于不同的Hello包间隔, 增加长度之后的Hello包的碰撞概率改变并不明显。因此, 可认为本文的机制在只增加比较小的链路开销情况下可以准确估计可用带宽。

如前所述, 监测时间对结果的准确性影响较大, 不同监测时间情况下的估计误差如图1所示。与文献[4]提出的带宽估计方法不同(BRuIT), 当采用了重传估计机制之后, 节点能够准确地根据竞争窗口估计碰撞情况, 进而估计监测时间内的可用带宽。仿真结果表明节点采用重传估计机制之后的误差明显降低, 更加接近实际测量所得到的可用带宽数值, 如式(6)所示, 若不考虑碰撞情况, 则所预测的监测时间段内需要传输数据帧数量 $N_s = N_p$, 即与产生

的数据帧数量相同, 按照这种方式所预测的可用带宽数值高于实际值。当监测时间增加时, 所得到的估计值能够更大程度地接近实际测量值; 但是这种情况下, 节点所预测的为监测时间段内的平均可用带宽, 并不能够精确地用于描述在连续时间域内信道的状态。

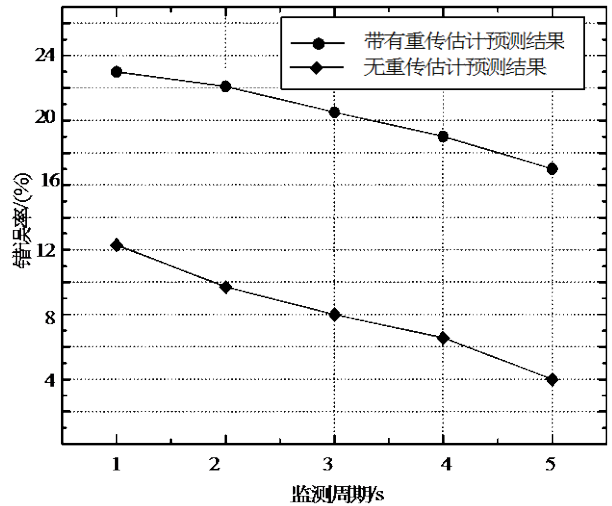


图1 可用带宽估计误差(不同监测时间)

不同的数据帧间隔时间将会改变网络的负载, 带宽估计机制在不同网络负载情况下的估计误差如表3所示。

表3 估计误差(不同数据帧间隔)

间隔时间/s	0.01	0.02	0.05	0.10
估计误差/(%)	11.78	9.93	8.30	5.24

从仿真结果可知, 带有重传预测的可用带宽估计方法能够适用于各种网络负载情况, 随着注入到网络中的数据流增加, 各种帧碰撞的概率也随之增加, 由RTS引起的碰撞将会导致节点错误地设置NAV, 因此, 在数据帧间隔较小的情况下, 估计误差将略有上升, 但总体来说比较准确。

4 结 论

本文提出了一种用于Ad hoc网络的可用带宽估计方法, 节点根据平均竞争窗口大小预测碰撞概率, 进而估计数据帧重传次数, 通过多个节点协同的方式完成可用带宽估计过程。仿真结果表明该机制能够比较准确地估计Ad hoc网络的数据帧碰撞情况以及可用带宽。设计基于可用带宽感知的路由协议以承载多媒体业务是下一步研究的主要内容。

(下转第1051页)