

短波令牌环协议排队模型的分析与优化

景 渊, 曹 鹏, 黄国策, 褚振勇

(空军工程大学电讯工程学院, 西安 710077)

摘 要: 短波通信在短波无线 IP 令牌环协议网络中存在信道利用率低、令牌周期内数据传输总量小等问题。针对短波数据传输的特点, 提出一种优化的短波令牌环网络 IP 网关数据输入排队模型。理论研究和仿真比较结果表明, 该模型能解决信道中资源浪费的问题, 实现高优先级数据的优先处理, 有效提高网络的数据吞吐量。

关键词: 无线令牌环协议; 短波无线 IP 网关; 输入排队

Analysis and Optimization of Queuing Model in HFTRP

JING Yuan, CAO Peng, HUANG Guo-ce, CHU Zhen-yong

(Telecommunication Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

【Abstract】 The disadvantages of the HF channel is that it causes a low channel utilization ratio in the HF Wireless Token Ring Protocol(WTRP) network, and it decreases the throughput during the token-ring duration. This paper proposes a modified input queuing switches model for IP gateway in this network according to the characters of HF data communication. The theoretical and simulation researches show that this input queuing switches model can solve the problem of channel resource wasting, make the high priority data to be served first and increase the throughput of the whole net.

【Key words】 Wireless Token Ring Protocol(WTRP); HF wireless IP gateway; input queuing

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.02.026

1 概述

在短波 IP 无线令牌环网络中, 由于物理层设备调制解调器与电台同一时刻只能向一个目标电台发送固定帧长的数据, 原有先入先出的原则使单个数据包可能在令牌持有期内无法填满一个数据帧, 造成信道的浪费。并且链路轮回时间严重影响传输时延^[1], 随着数据帧数量的增加, IP 网关中数据发送时间将明显增加, 加上短波信道自身的缺点造成了在令牌持有时间内的数据吞吐率的降低。针对该问题, 本文提出一种数据输入排队算法, 通过建立排队模型, 并进行数学分析, 最后通过仿真验证了这种排队模型的有效性。

2 短波无线令牌环协议

无线令牌环协议(Wireless Token Ring Protocol, WTRP)^[2-3]在 IEEE 802.5 协议技术的基础上进行修改, 保证了这种协议在无线通信中的有效使用。该协议是在无线局域网中通过对令牌的传递来实现各个节点对信道的争用^[2]。

短波无线令牌环协议的特点是在非令牌持有期内无线 IP 网关接收到本地用户的数据包, 当令牌传递到本节点后, 将各数据包封装成特定的数据帧格式, 以 FIFO 的方式传递给短波调制解调器进行发送。为提高信道利用率, 有学者提出在接收到数据包之后将前后相邻的数据包在封装前进行判断, 看发送的目标节点是否相同, 如果与后面的数据包属于同一个目标节点, 则在同一帧中发送, 否则分别发送。

文献[4]提出了短包优先调度算法, 根据在 IP 数据通信当中短包数据所占的比例较大(有线网中长度不超过 64 Byte 的包约占有所有包的 60%, 多数为 ACK 包或其他控制包, 如 SYN、FIN 或 RST 等), 这些短包的延迟直接影响上层业务的处理时间^[5], 那么通过短包的抢占式优先发送, 提高上层 IP 数据业务的处理效率, 这种方法在有线网络中非常实用, 同时在短波 IP 网络中, 该方法也可以对上层用户产生一定的积极影响,

但却没有从根本上解决对底层信道浪费的问题。

3 数据输入排队模型

在短波无线网络中存在的诸多问题, 如信道争用方式的选择、低的信道速率、高的信道误码率等, 都要求在短波无线 IP 路由器中采用有效的排队方式来提高信道利用率, 提高在令牌周期内总的数据传输总量。

3.1 总体网络结构

短波 WTRP 的网络结构如图 1 所示。

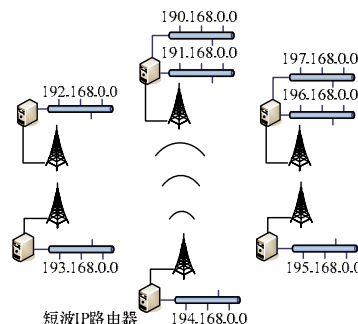


图 1 短波 WTRP 的网络结构

其中, 每个网络节点对应一部短波电台和与无线 IP 网关相连接的一个或多个本地子网, 网络中通过短波信道实现不同子网的互联, MAC 协议采用短波无线令牌环的方式, 网络的一个节点通过无线 IP 网关实现 IP 数据包的重新封装使其适合在短波 Modem 中的调制与解调, 最后通过短波电台进行发送^[6]。此外, 该短波网络工作在同一频段, 网中节点发送

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2006F22)

作者简介: 景 渊(1986 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 短波通信; 曹 鹏, 博士研究生; 黄国策, 教授; 褚振勇, 副教授

收稿日期: 2010-05-10 **E-mail:** gmt_jingyuan@163.com

数据,其他所有节点都可接收到,由无线 IP 网关判断是否向本地子网传输数据和进行确认信息的回复。同时当发送节点未收到目标节点的确认信息或收到其错误接收的信息,将对数据进行重新发送。

3.2 排队模型

在一个短波无线令牌环网络中,无线 IP 网关在令牌等待时间内会有目的地址和源地址都不同的数据包到达,而这些数据包中有些虽然目的 IP 地址不同但是目标网段相同,由同一个目标网关进行接收,在无线 IP 网关中可以默认为相同的地址。这种排队模型类似于文献[7]中的基于队长优先级输入排队机制,但也存在区别。

在无线 IP 网关中建立多个数据等待缓存区,分别对应相应的网络节点,在令牌等待时间内将本地用户发送来的数据分别存储于与其目的地址相对应的缓存区中。这样在该无线 IP 网关获得令牌时按规定的顺序,依次对某一缓存器数据进行封装并发送。这样可以在一定程度上保证短波电台所发送的数据帧大部分都被有效数据所填满。

这样,在一个令牌持续期内,当用户送来的发送数据总量的发送时间小于令牌持续期时,采用排队模型可以减少数据实际发送时间;当用户送来的发送数据总量的发送时间大于令牌持续期时,即在一个令牌持续期内无法对数据进行全部发送时,可以增加此次令牌持续期内数据发送的数量。相对全网来说提高全网数据传输吞吐量。

3.3 优先级设置

此外在队列的设置上还可以把目标地址优先级高的队列排在前面,这样可以保证目标地址优先级高的数据包可以优先得到发送,同时当 IP 网关接收到的数据量过大,无法在一个令牌周期内全部发送,这种设置可以保证优先级高的数据包不会延迟到下一个令牌周期进行发送。

4 输入排队模型的数学分析

在数学分析及后续的仿真比较中选择 3 个性能参考量:数据包平均服务等待时间,队列长度,发送全部数据时间。选择第 3 个参考量的原因是,在短波通信信道质量较差,为实现可靠传输要对丢失的数据进行重发,队列长度不能全面地描述系统的服务性能,因而增加该参考量。

(1)到达数据量远大于队列数

当 $N \gg M$ 时(N 为令牌等待期内的数据包数量),则本地 IP 数据包到达率高,到达时间间隔小。

当前短波令牌环网络中有 $M+1$ 个节点,那么其中一个节点的短波 IP 路由器提供的目标队列为 M 个,令牌持有期的超时为 T_{ring} 。

短波数据帧的有用数据段长度为 K Byte,共分为 k 分组,那么每个分组的长度为 K/k 。一帧的发送时间为 t_{frame} (主要受交织时间影响),假设某一次的令牌等待期为 $T_{\text{w-ring}}$,其中, $T_{\text{w-ring}} = T_{\text{ring}} \times (M+1)$,令牌到达后,首先进行服务的是上次未完成服务数据,服务时间为 $T_{\text{w-data}}$,数据帧数量为 $L_{\text{w-data}}$ 。

数据的到达过程是一个到达时间间隔服从负指数分布的泊松流,数据包到达时间间隔的均值为 λ 。某一分组正确传输的概率为 p ,则需要重新传输的概率为 $1-p$ 。数据包的长度服从参数为 μ 的负指数分布。

则原有某一队列中的平均数据分组数为:

$$L_{\text{packet}} = \frac{E[L_{\text{data}}] \cdot k}{K}$$

考虑某一队列中的实际平均短波数据帧传输数量,则某

一个队列的数据平均长度为:

$$E[L_{\text{data}}] = \frac{N}{\mu \cdot M}$$

队列中最后一个帧中数据分组未填满整个帧,那么在发送过程中可能会有前面需要重传的分组填入,最后一个帧中的分组数为 L'_{packet} :

$$Q(x) = \begin{cases} x \text{ 整数部分} + 1, & x \text{ 小数部分} > 10^{-3} \\ x \text{ 整数部分}, & x \text{ 的小数部分} < 10^{-3} \end{cases}, \quad x \neq 0 \quad (1)$$

$$L'_{\text{packet}} = \left\lceil Q\left(\frac{L_{\text{packet}}}{k}\right) - 1 \right\rceil \cdot \left(\frac{k}{p} - k\right) + L_{\text{packet}} - k \cdot \left\lceil Q\left(\frac{L_{\text{packet}}}{k}\right) - 1 \right\rceil \quad (2)$$

$E[L'_{\text{frame}}]$ 为队列平均发送帧数量:

$$E[L'_{\text{frame}}] = \begin{cases} Q\left(\frac{L_{\text{packet}}}{k}\right) + 1 & L'_{\text{packet}} = k \\ Q\left(\frac{L_{\text{packet}}}{k}\right) + 1 - p^{L'_{\text{packet}}} & L'_{\text{packet}} < k \end{cases} \quad (3)$$

则总的实际发送的队列长度均值为:

$$L = M \cdot E[L'_{\text{frame}}] + L_{\text{w-data}} \quad (4)$$

总的服务时间均值为:

$$T_s = L \cdot 2 \cdot t_{\text{frame}} + T_{\text{w-data}} = t_{\text{frame}} \cdot 2 \cdot M \cdot E[L'_{\text{frame}}] + T_{\text{w-data}} \quad (5)$$

总的平均服务等待时间为:

$$E[T_{\text{wi}}] = E[T_{\text{wri}}] + E[T_{\text{wsi}}] + T_{\text{w-data}}$$

其中, T_{wri} 为在令牌等待期内的等待时间(这其中也包含了本地的令牌接收和传递时间); T_{wsi} 为在服务开始后的等待时间,它包括了该用户数据包所在队列前面队列的服务时间和在自己队列开始服务的等待时间,这里用队列服务时间的一半来近似队列内的服务等待时间。则平均服务等待时间为:

$$E[T_{\text{w}}] = \frac{t_{\text{frame}} \cdot 2 \cdot E[L'_{\text{frame}}]}{2} + \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} t_{\text{frame}} \cdot 2 \cdot E[L'_{\text{frame}}] \cdot j + \frac{1}{\lambda} \cdot \left(\frac{N^2 + N}{2}\right) + T_{\text{w-data}} \quad (6)$$

(2)到达用户数据包数与队列数在一个数量级

以上讨论的结果是当 $N \gg M$ 时方差越小;当 N 越接近 M 时,各种参量的方差越大。而由于受到令牌持有期超时的限制,到达的用户数据包越多,发送时间就越长,那么可能造成部分数据包要等到下个令牌持有期才能接收服务,当数据到达率不变时,越积越多就会造成数据的拥塞。因此,在实际情况下由经验值可知,一般 N 与 M 在一个数量级,也可能 N 小于 M 。而当 N 值减小时,可能造成前面提到的理论值大于实际仿真的数据,这主要是由于 N 减小,某些队列中可能并没有数据要发送,但是在计算平均队长时也将其计算在内,会出现短波数据帧队长理论平均值大于实际值的现象。令牌等待期内的数据服务等待时间不变。

当 $N = M$ 时:

$$L = \sum_{i=1}^N Q\left(\frac{N}{K \cdot \mu \cdot i}\right) \cdot C_M^i \cdot \frac{(C_i^1)^N - (C_{i-1}^1)^N}{(C_N^1)^N - 1} \quad (7)$$

对发送时间的研究与前文相同。

令牌持有期内的服务等待时间由于队列中的用户数据包较少或没有,那么在计算某一个用户数据包的在自己队列服务开始的服务等待时间,就不能以所在队列服务时间的一半来近似队列内的服务等待时间,而直接为 0。

某一队列平均长度为:

$$E[L'_{\text{frame}}] = \sum_{i=1}^N Q\left(\frac{N}{K \cdot \mu \cdot i}\right) \cdot C_M^i \cdot \frac{(C_i^1)^N - (C_{i-1}^1)^N}{(C_N^1)^N - 1} \quad (8)$$

则平均服务等待时间为：

$$E[T_w] = \frac{1}{\lambda} \cdot \left(\frac{N^2 + N}{2} \right) + \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} 2t_{\text{frame}} \cdot E[L'_{\text{frame}}] \cdot j + T_{w\text{-data}} \quad (9)$$

(3) 令牌期待时间小于发送时间

有可能出现在一个令牌等待期内数据无法得到全部服务的情况，那么排在后面的队列中的数据将被迫等到下个令牌持有期进行服务。假设在 N 个数据包中有 n ($n \ll N$) 个排在后面的 m ($m \ll M$) 个队列中，这些数据未得到服务，那么只对本次数据发送的总的服务时间 T_s 和数据发送队长 L 没有影响，只对数据包服务等待时间产生影响。

则平均服务等待时间为：

$$E[T_w] = \frac{1}{\lambda} \cdot \left(\frac{N^2 + N}{2} \right) + \frac{t_{\text{frame}} \cdot 2 \cdot E[L'_{\text{frame}}]}{2} + \frac{n \cdot T_{w\text{-ring}}}{N} + \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} t_{\text{frame}} \cdot 2 \cdot E[L'_{\text{frame}}] \cdot j + T_{w\text{-data}} \quad (10)$$

5 仿真结果分析

仿真过程中选择网络中有 11 个目标节点，单个数据帧发送需要消耗 4.8 s，链路轮回时间为 1.5 s，节点令牌持续期为 60 s^[8]。上一次令牌持续期内未发送完毕的数据在本次令牌持续期数据发送的时间为 0，它不对仿真结果造成线性关系。所有仿真数据点均取的是 5 000 次运算的平均值。通过分析发现，这种数据输入排队模型在相同参数条件下，不论是在数据包平均服务等待时间上还是在发送全部数据所需时间上，都明显低于未使用排队模型的 FIFO 方式。

由图 2、图 3(数据包大小均值：250 Byte)可以看出，当数据包到达的时间间隔增大，即在令牌等待期内到达的数据包的数据量减少，则不论是否采用排队方式，数据包平均服务等待时间和数据发送总队长都会相应减少，但是采用排队方式的各项指标明显低于不使用排队方式。同时在数据包到达量达到一定程度时，在令牌持续期内无法完成所有数据的发送时，采用这种排队模型可以很好地提高令牌持续期内数据发送总量。由于篇幅限制，本文未给出全部发送时间的仿真结果。

图 4、图 5 显示了在数据包的平均长度变化的情况下数据包的平均服务时间和发送队长的影响(数据包到达时间间隔均值：150 s)。可以看到，数据包的长度变化对上述 2 个变量都具有影响。但在使用了输入排队模型之后，可以看出在性能上有了明显提升。同时，在图 4 中使用了排队模型之后，在相同数据包平均长度的情况下，平均服务等待时间更小。

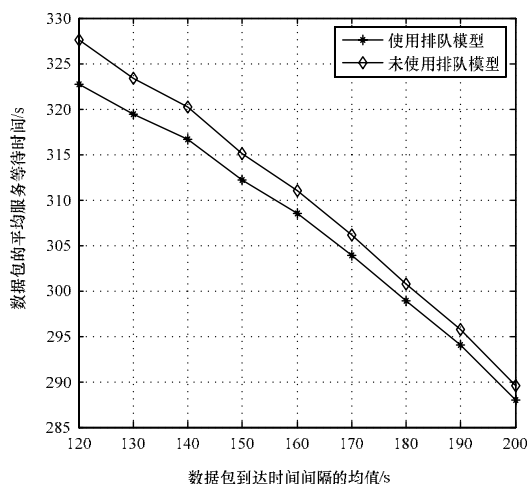


图 2 $E[T_w]$ 随 λ 变化的曲线

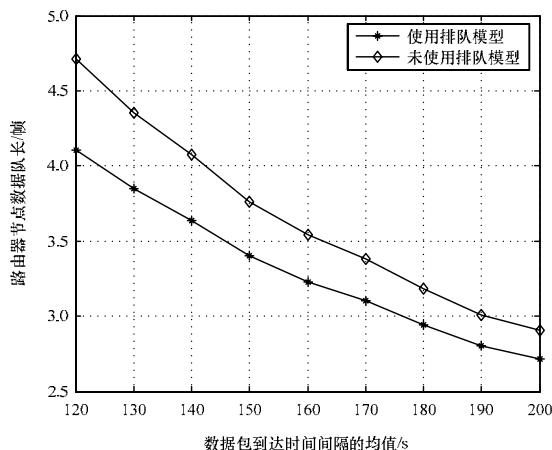


图 3 L 随 λ 值变化的曲线

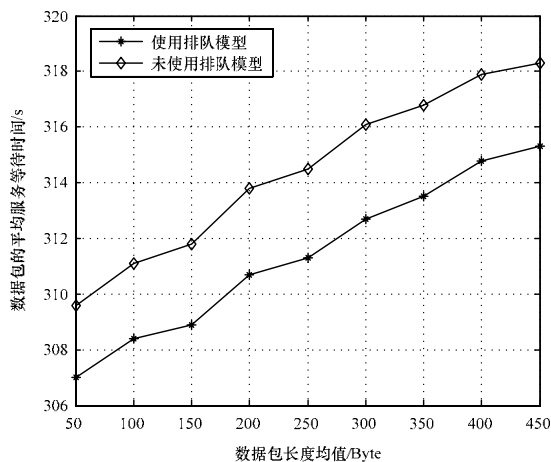


图 4 $E[T_w]$ 随 μ 变化的曲线

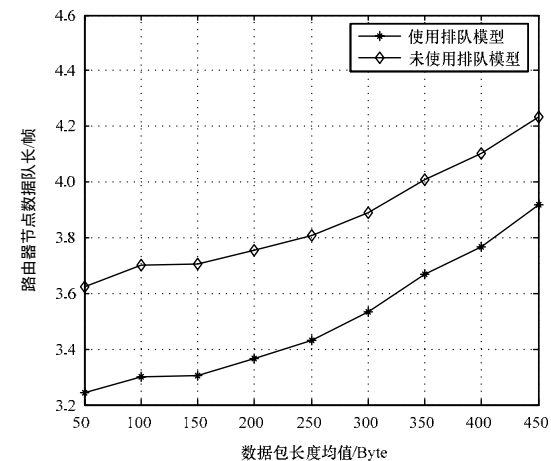


图 5 L 随 μ 变化的曲线

6 结束语

通过建立数学模型和 Matlab 仿真分析可以发现，本文提出的数据输入排队模型在各项指标均比先入先出的排队方式优越。此外，还可以保证优先级高的数据包可以得到优先服务。下一步研究方向是结合短波无线令牌环协议的新进展优化输入排队算法。

参考文献

- [1] Kille S. Running Applications over HF Without IP[R]. 2008.
- [2] Ergen M, Lee D, Varaiya P. WTRP——Wireless Token Ring Protocol[J]. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 2004, 53(6): 1863-1881.

(下转第 84 页)