

一种应用于 Ad Hoc 无线局域网的随机接入协议

王春江, 耿方萍, 刘元安, 高锦春

(北京邮电大学无线通信研究中心, 北京 100876)

摘要: 本文分析了应用于 Ad Hoc 无线局域网的 BSAC(Buffered Slotted ALOHA CDMA)随机接入协议,并且首次提出了采用 Markov(马尔可夫)链方法的分析模型.此模型应用两个 Markov 链模型,一个表示节点中的 $M/M/1/k$ 排队模型,另一个表示网络中活动节点数量.两个 Markov 链模型通过节点空闲概率相互联系.在此模型基础上,本文详细分析了扩频增益、队列长度与最大允许重传次数等输入参数对网络吞吐量、平均延迟与丢包概率等性能尺度的影响,推导得出了 BSAC 协议的吞吐量极限.另外,本文还引入多数据包接收技术-延迟捕获技术,该项技术可以有效降低数据包冲突概率,相对于没有采用延迟捕获技术的 BSAC 协议,平均提高吞吐量 29.1%,最大吞吐量提高 20.8%,使网络性能接近于理论极限.

关键词: Ad Hoc 网络; BSAC 协议; 性能分析; 无线局域网

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2005)01-0026-06

A Novel Random Access Protocol for Ad Hoc Wireless LANs

WANG Chun-Jiang, GENG Fang-Ping, LIU Yuan-An, GAO Jin-Chun

(Wireless Research Center, Beijing Univ. of Posts & Telecomm., Beijing 100876, China)

Abstract: The BSAC (buffered S-ALOHA CDMA) protocol that applies to the Ad Hoc Wireless LANs is analyzed, and its analytical model is first proposed by Markovian chain approach in this paper. The analytical model uses two Markovian chains; one is for the $M/M/1/k$ queuing model in the individual node, and another is for the number of the busy nodes in whole networks. Two Markovian chains are connected by the idle probability of queue. The effect which the analytical model's input parameters of throughput, delay and times of failure to deliver has on its performance metric of spreading gain, queue size and maximum allowable number of re-transmissions is analyzed. The throughput bound of the BSAC protocol is given. Besides, the delay-capture technology is introduced to greatly decrease the probability of collision of packets and improve the throughput by averagely 29.1% and improve the maximum throughput by 20.8% compared with the pure BSAC protocol and close to theoretical bound.

Key words: Ad Hoc network; BSAC protocol; performance analysis; wireless LANs

1 引言

S-ALOHA (Slotted ALOHA) 协议作为一种有效的多址接入协议广泛应用于无线通信网络中,而且与传统的多址接入协议结合^[1],例如与 CDMA 或 TDMA 结合,同样表现出很好的性能.其中 S-ALOHA CDMA (Code Division Multiple Access) 协议允许多个数据包在网络中同时传输,相对于传统的 S-ALOHA 协议,性能得到显著提高.在 S-ALOHA 协议中,数据包冲突是导致成功发送概率降低的主要原因,然而重传和缓存机制可以有效地提高数据包成功发送概率,从而提高网络的性能和稳定性.在以上分析中,S-ALOHA CDMA 协议主要应用于中心控制网络,例如蜂窝通信网或具有 AP(Access Point)的无线局域网.文献[2~4]首次分析了应用 S-ALOHA CDMA 协议的分布式分组无线网络 PRN(Packet Radio Networks,在 70—80 年代,Ad Hoc 网络的名称),并且提出了优化的传输范围和路由策略.应用于 PRN 的 MFR(Most Forward Routing)路由协议在文献[5]中进行了分析.文献[6]提出了基于 S-ALOHA CDMA 协议

的 Ad Hoc 网络的 Markov 链模型,文献[7,8]提出了基于信号处理的冲突解决方案,有效地提高了协议性能.但是,首先,文献[6]提出的协议假设通信节点具有理想的多数据包接收能力(即多收发器)和全双工工作方式,提高了系统的复杂度.其次,根据本文对文献的了解,基于 CDMA 协议的分布式网络的分析都没有考虑队列及重传策略对网络性能的影响.实际上,队列长度的增加将使网络状态数量以指数级别增加,因此建立基于队列的网络模型具有很大的挑战性.

本文以网络中活动节点数量作为状态变量,结合嵌入在每个节点中的 $M/M/1/k$ 排队模型,提出并建立了基于 BSAC (Buffered S-ALOHA CDMA) 协议的随机接入 Ad Hoc 网络的 Markov 链模型,为后续的研究工作提供了有效的分析方法.首先,本文研究重点在于建立完整的理论分析模型,着重分析该模型的扩频增益、队列长度与最大允许重传次数等输入参数对网络吞吐量、平均延迟与丢包率等性能尺度的影响.其次,引入多数据包接收技术——延迟捕获技术^[9]解决数据包冲突从而显著提高网络性能.本文假设通信节点具有理想的

收稿日期:2003-07-01;修回日期:2004-04-26

基金项目:NTT DoCoMo 公司与北京邮电大学合作项目支持

接收能力, S-ALOHA CDMA 网络系统中的远近效应与同步技术假设已经合理地解决,同时,本文假设节点采用单收发器和半双工工作方式,因此数据包冲突是传输失败的唯一原因。

本文后续章节安排如下:第二节对系统作了简要分析,第三节建立 Markov 数学模型,基于此模型的网络性能分析在第四、五节中阐述,第六节给出了一些重要结论。

2 网络分析

在 BSAC 协议中,系统时间被划分为时隙,数据包在时隙开始时刻发送,时隙长度稍大于传输一个数据包所用时间,保证数据包和必要的控制信息的可靠传输。节点的状态分别定义为空闲状态或活动状态,在时隙开始时刻,如果节点有数据包需要发送,则此节点称为活动节点,反之则为空闲节点。

在 BSAC 协议中,主要采用两种扩频方式,基于发送节点扩频的 Tx-Based CDMA 方式和基于接收节点扩频的 Rx-Based CDMA 方式。文献[6]采用 Tx-Based CDMA 方式,数据包以发送节点的扩频码扩频。接收节点可以采用两种方式,一种是采用多个接收机,每个接收机监听一个扩频信号,这种方式增加了数据包成功接收的概率,但同时也增加了系统实现的复杂性。另外一种方式是在接收机中采用复杂的扩频码搜索算法,这种方法可以降低系统硬件实现的复杂度,但增加了算法复杂度。因此,本文认为 Tx-Based CDMA 方式不适用于分布式的 Ad Hoc 网络。本文采用 Rx-Based CDMA 方式,为每个节点分配一个唯一的扩频码,数据包以目的节点的扩频码扩频。那么当目的节点仅接收一个发送给自己的数据包时,才能正确接收此数据包,否则由于扩频冲突导致接收失败;如果节点具有多个数据包接收能力,例如,采用延迟捕获技术,那么当有多个以相同扩频码扩频的数据包到达目的节点时,如果首达数据包比其他数据包提前到达一定时间,目的节点就可以成功接收首达的数据包。这种方式可以显著提高数据包成功发送的概率进而提高系统性能。

基于 BSAC 协议的 Ad Hoc 无线局域网的基本通信流程如下:数据发送模型采用 DFT(Defer First Transmission)模型,任何需要发送数据的节点在时隙开始时刻发送数据包;如果数据包是新到达数据,数据包以概率 1 发送,如果数据包是重传数据,数据包以概率 P_r 发送;如果源节点接收到目的节点发送的 ACK 控制包则表示数据发送成功,否则,源节点缓存此数据包在队列顶端,在下一个时隙重传此数据,如果重传次数超过最大允许重传次数,则丢弃数据包。

在下一节中,我们将建立基于 BSAC 协议的 Ad Hoc 无线局域网模型。该模型充分考虑数据包重传次数、节点队列长度与信号扩频增益对系统性能的影响。

3 Markov 链模型

在 BSAC 协议中,本文假设网络是均衡的,每个节点具有相同的行为和特性,所以一个单独的节点可以描述整个网络的特性。基于这个理论,本文采用两个 Markov 链描述整个网络。其中一个描述当前时隙内网络中活动节点数量,当前时隙内活动节点数量只由上一个时隙内活动节点数量决定,符合

Markov 链特性;另一个 Markov 链描述节点的 M/M/1/k 队列模型。两个模型通过队列的空闲概率相互作用,而且,队列空闲概率受网络中所用其他节点的状态和行为决定,反映了网络的整体特性。

在第一个 Markov 链中,时隙 t 期间系统内活动节点的数量 $N(t)$ 作为状态变量构造离散时间 Markov 链,对于具有 M 个节点的网络,Markov 链的状态转移概率矩阵 $P = [P_{nk}]$ 表示为:

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0M} \\ P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1M} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ P_{M0} & P_{M1} & \dots & P_{MM} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 $P_{nk} = \{N(t+1) = k | N(t) = n\}$ (2)

表示在第 t 个时隙有 n 个活动节点而在第 $t+1$ 个时隙有 k 个活动节点的概率。假设节点发送成功概率相互独立,则转移概率 P_{nk} 为:

$$P_{nk} = \binom{M}{k} \cdot P_a^k(n) \cdot (1 - P_a(n))^{M-k} \quad (3)$$

其中 $P_a(n) = (1 - P_0(n)) [P_s(n) + P_r(1 - P_s(n))]$ (4)

表示当前时隙活动节点在下一个时隙仍然为活动节点的概率,其 $P_0(n)$ 表示节点队列缓存为空的概率, $P_s(n)$ 表示数据包成功发送概率, P_r 表示数据包的重传概率。在 BSAC 协议中,重传的数据包一直缓存在队列顶端,因此,成功的数据包发送表示下一个需要发送的数据包是新到达数据包,以概率 1 发送;失败的发送表示下一个时隙节点仍然为重传数据包,以概率 P_r 发送。

为了求解 $P_a(n)$, 本文为节点引入有限队列长度的 M/M/1/K 排队模型,如图 1 所示。

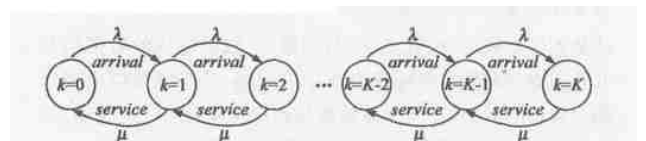


图 1 M/M/1/k 队列

假设进入网络节点的数据流为强度 λ 的泊松分布,并且网络流量为均衡分布,服务能力可以近似认为具有强度为 μ 的泊松分布,队列长度为 k 。

3.1 数据包成功传输概率

在 BSAC 协议中,节点成功发送数据包需要满足的条件包括:(1)由于节点工作方式为半双工,即不能同时发送和接收数据,只有目的节点是空闲节点时,数据包才能被成功发送;(2)因为数据包使用目的节点的扩频码扩频,如果多个数据包发送给同一个目的节点,将发生冲突而导致接收失败,所以,仅当只有一个数据包发送到目的节点时,数据包才能被目的节点成功接收;但是,如果节点采用多数据包接收能力,例如,延迟捕获技术,那么当多个数据包到达时间有一定的间隔的情况下,目的节点可以成功接收其中一个数据包;(3)由于网络中同时有多个节点发送数据包,因此,在多址干扰环境下,成功接收数据包中所有数据比特才能表示数据包接收成功。在 ALOHA 随机接入 Ad Hoc 无线局域网中,本文假设以上

三个条件是相互独立的,所以,任何节点发送数据包成功的概率为:

$$P_s(n) = P\{\text{数据包成功传输}\} \cdot P\{\text{目的节点空闲}\} \cdot P\{\text{数据包成功捕获的概率}\} \\ = (1 - P_b)^{L_c} \left[\frac{M-n}{M-1} \right] \cdot Q_M(n) \quad (5)$$

其中 L_c 是数据包长度, $(M-n)/(M-1)$ 是目的节点为空闲节点的概率, P_b 表示比特误码率, $Q_M(n)$ 表示目的节点成功捕获一个数据包的概率. 由文献[10]可知,在标准高斯白噪声的假设下,误码率由扩频增益 N 与同时发送数据的节点数量 n 决定,所以比特误码率表示为:

$$P_b = Q \left[\sqrt{\frac{3N}{n-1}} \right] \quad (6)$$

其中 $Q(x) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$. 当有 n 个活动节点时,对于某一固定目的节点,其成功捕获一个数据包的概率 $Q_M(n)$ 表示

$$Q_M(n) = \sum_{k=0}^{n-1} P\{\text{目的节点成功捕获首达数据包} | \text{有 } k+1 \text{ 个数据包到达}\} \cdot P\{k \text{ 个其他节点选择这个目的节点作为目的节点}\} \\ = \sum_{k=0}^{n-1} \binom{n-1}{k} \left[\frac{1}{M-1} \right]^k \left[\frac{M-2}{M-1} \right]^{n-k-1} \cdot \frac{1}{k+1} \cdot P_s^c(k+1) \quad (7)$$

其中 $1/(k+1)$ 表示在目的节点,从 k 个到达的数据包中任选一个的概率, $P_s^c(k)$ 表示当目的节点同时收到 k 个数据包,成功捕获首



达数据包的概率. 根据文献[9]的描述,如果首达的数据包与其他数据包的到达时间存在很小的间隔,节点就可以成功检测出首达的数据包. 为了使数据包到达时间保持一定间隔,采用数据包发送时间随机化的方法,如图2所示:

如果任何活动节点在 h 个子时隙中随机选择一个作为数据包发送时间,那么在这些数据包在目的节点的到达时间也是随机的,如果首先到达的数据包与后续到达的数据包的到达时间间隔足够大,则目的节点可以成功接收首先到达的数据包. 假设,如果同时有 k 个节点选择同一个目的节点发送数据包,目的节点成功捕获概率如公式(8)所示.

$$P_s^c(k) = \begin{cases} 1 & k=1 \\ (1-Q)^k & k=2 \\ 0 & k=0 \end{cases} \quad (8)$$

其中 Q 是选取 h 中任何一个子时隙的概率. 由于选取方式为随机选取,所以 $Q = h^{-1}$.

定理1 把式(8)代入式(7),经过化简得到无条件捕获概率:

$$Q_M(n) = \left[\frac{M-2}{M-1} \right]^{n-1} \cdot Q + \frac{M-1}{n} \left[\left(1 - \frac{Q}{M-1} \right)^n - \left[\frac{M-2}{M-1} \right]^n \right] \quad (9)$$

如果 $M=2, n=1$,则 $Q_2(1) = 1$.

当不考虑节点的多数据包接收能力,仅当只有一个数据包发送到目的节点时,数据包才能被目的节点成功接收,成功

捕获概率表示为: $P_s^c(k) = \begin{cases} 1 & k=1 \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (10)$

把式(10)代入式(7)得到没有延迟捕获能力的目的节点的无条件捕获概率 $Q_M(n)$:

$$Q_M(n) = \left[\frac{M-2}{M-1} \right]^{n-1} \quad (11)$$

3.2 队列空闲概率与阻塞概率

至此,已经得到了数据包成功传输概率 $P_s(n)$. 为了求解队列空闲概率 $P_0(n)$,需要计算 $M/M/1/K$ 队列的数据流服务强度 μ . 服务强度可以表示为: $\mu = \frac{1}{N_d} \quad (12)$

其中 N_d 表示成功发送一个数据包的平均时隙数量. 本文采用数据包重传机制,如果数据包发送不成功,则在下一个时隙以概率 P_r 重新尝试接入信道,如果重传次数大于最大允许重传次数,则丢弃数据包. 由于第一次数据包发送概率与重传概率不同,所以需要分别计算平均发送时间:

$$N_d = P\{\text{第一次发送失败}\} \cdot [P\{\text{有限次重传失败后成功}\} + P\{R_{\max} \text{次重传失败}\}] + P\{\text{第一次发送成功}\} \\ = (1 - P_s) \left\{ \sum_{R=1}^{R_{\max}} (1 - P_r \cdot P_s)^{R-1} \cdot P_r \cdot P_s \cdot (R+1) + (1 - P_r \cdot P_s)^{R_{\max}} \cdot (R_{\max} + 1) \right\} + P_s \quad (13)$$

已知 $M/M/1/K$ 队列的数据流到达强度与服务强度 μ ,则排队系统队长概率表示为:

$$P_k = \frac{1 - (\rho/\mu)}{1 - (\rho/\mu)^{K+1}} \left(\frac{\rho}{\mu} \right)^k \quad 0 \leq k \leq K \quad (14)$$

由式(14)可以得到队列空闲概率 $P_0(n)$ 和阻塞概率 $P_{\text{block}}(n)$.

$$P_0 = \frac{1 - (\rho/\mu)}{1 - (\rho/\mu)^{K+1}} \quad (15)$$

$$P_{\text{block}} = \frac{1 - (\rho/\mu)}{1 - (\rho/\mu)^{K+1}} \left(\frac{\rho}{\mu} \right)^K \quad (16)$$

最后需要说明的是,将分别由式(5)(15)得到的队列空闲概率 $P_0(n)$ 与传输成功概率 P_s 代入式(3)(4)后可以得到以活动节点数为状态变量的 Markov 链转移概率矩阵 P . 由转移概率矩阵(2)可以得到 Markov 链的稳态分布 $\pi = P \cdot$,由于转移矩阵是有限状态的和齐次不可约的,所以其稳定分布一定存在.

4 性能分析

网络吞吐量的定义为在一个时隙内成功发送的数据包数量. 在已知传输成功概率 $P_s(n)$ 和活动节点数量 n 情况下,网络吞吐量表示为:

$$G(n) = \sum_{k=1}^n k \binom{n}{k} \cdot P_s^c(k) \cdot (1 - P_s(n))^{n-k} = n \cdot P_s^c(n) \quad (17)$$

由于基于 ALOHA 的随机接入 Ad Hoc 网络存在网络吞吐量极限. 当所有向空闲节点发送的数据包都能够成功接收时,网络吞吐量达到最大值.

由式(8)可知,理想的成功捕获概率表示为

$$P_s^c(k) = \begin{cases} 0 & k=0 \\ 1 & \text{others} \end{cases} \quad (18)$$

把式(18)代入式(7),则无条件捕获概率表示为:

$$Q_M(n) = \frac{M-1}{n} \left[1 - \left(\frac{M-2}{M-1} \right)^n \right] \quad (19)$$

如式(6)可知,如果扩频增益足够大,即MAI干扰足够小,则误码率接近于0.

定理2 把式(19)代入式(5),经过简化,吞吐量的理论极限可以表示为:

$$(n) \quad (M-n) \left[1 - \left(\frac{M-2}{M-1} \right)^n \right] \quad (20)$$

$$\text{平均网络吞吐量为: } \bar{S} = \sum_{n=1}^M (n) \cdot (n) \quad (21)$$

$$\text{平均延迟表示为: } \bar{D} = \sum_{n=1}^M n \cdot (n) / \bar{S} \quad (22)$$

在分析扩频增益对网络性能的实际影响时,必须考虑扩频增益所消耗的额外网络带宽,为此,本文采用归一化尺度分析网络性能,因此,归一化网络吞吐量表示为:

$$u = S / N \quad (23)$$

其中 N 表示扩频增益.

由于有限的队列长度与有限的重传次数,数据包丢包的原因包括:(1)超出最大允许重传次数导致数据包丢弃;(2)队列拥塞导致数据包丢弃.假设有 n 个活节点,则丢包率表示为:

$$P_{fd}(n) = P_{\text{block}} + (1 - P_{\text{block}}) \cdot P_{\text{drop}} \quad (24)$$

其中队列拥塞概率 P_{block} 由式(16)求得.超出最大允许重传次数导致数据包丢弃的概率 P_{drop} 表示为:

$$P_{\text{drop}} = (1 - P_s) \cdot (1 - P_r \cdot P_s)^{R_{\text{max}}} \quad (25)$$

其中第一项表示节点第一次发送失败的概率,第二项表示 R_{max} 次重传失败的概率.在网络稳定的情况下,平均丢包率表示为:

$$\bar{P}_{fd} = \sum_{n=1}^M P_{fd}(n) \cdot (n) \quad (26)$$

5 结果分析

本文参考大部分文献对系统参数的定义,并且不失一般性地定义网络节点总数为20,数据包长度为1000比特,数据包重传概率为0.6,用于延迟捕获技术的子时隙数量为32.

5.1 扩频增益对网络性能的影响

为了便于分析,定义数据包重传概率与队列长度为1,在图3中用虚线表示没有采用延迟捕获技术的网络性能,实线表示采用延迟捕获技术的网络性能.

如图3(a-c)所示,扩频增益的增加可以显著网络吞吐量.但是,当没有采用延迟捕获技术,即使扩频增益很大时,吞吐量与吞吐量极限仍然有很大的差距,这个结果说明数据包的冲突严重降低网络吞吐量.但是,如果采用延迟捕获技术,那么当扩频增益很大时,吞吐量可以非常接近于极限值.因此,对于这种网络结构,数据包冲突问题是首先需要解决的问题,延迟捕获技术可以有效解决数据包冲突问题,相对于没有采用延迟捕获技术的BSAC协议,平均提高吞吐量29.1%,最大吞吐量提高20.8%.如图3(d-f)所示,如果考虑扩频增益对带宽的额外消耗,随着扩频增益的增加,归一化吞吐量反而减少,这个结果说明,通过增加扩频增益的方式并不能真正提高网络性能.

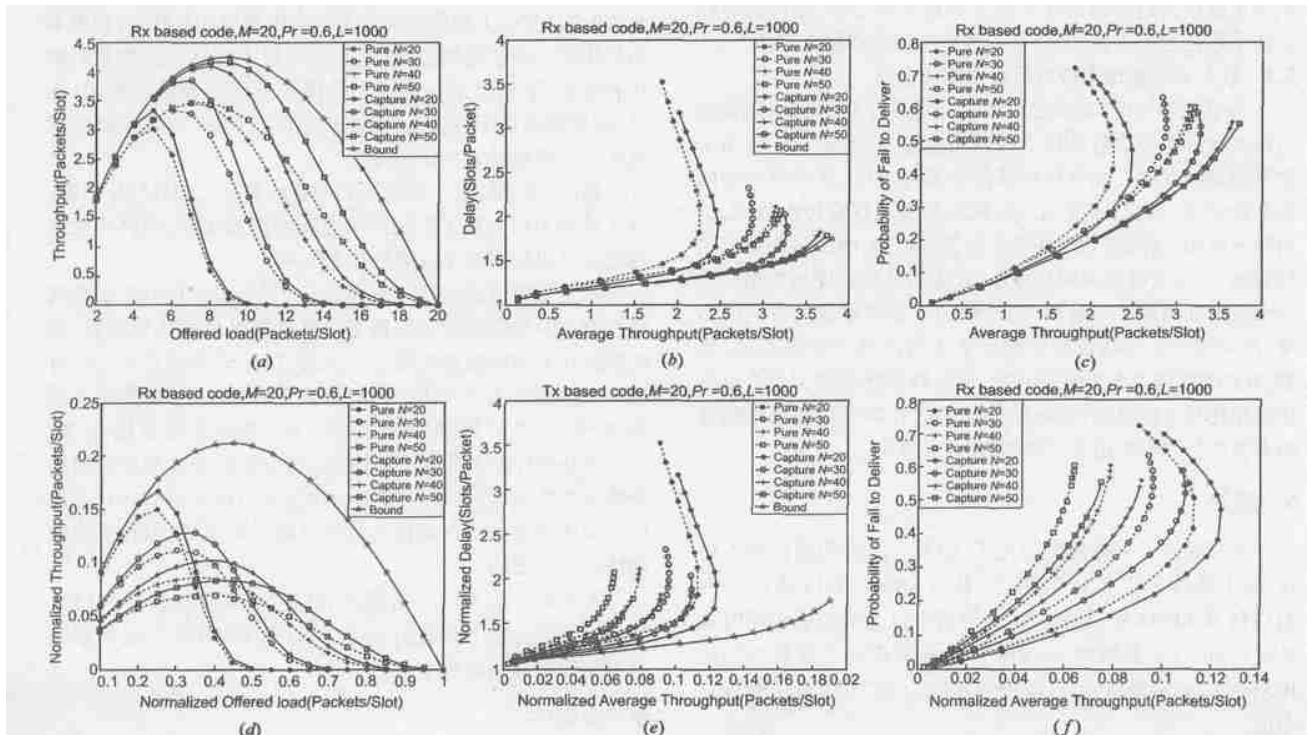


图3 扩频增益对网络性能的影响

5.2 队列长度对网络性能的影响

在对随机接入 Ad Hoc 网络性能分析中,本文首次考虑了队列长度 Q_{\max} 对网络性能的影响。由上节的性能分析可知,队列长度直接影响网络平均延迟与丢包率,对某一状态的网络吞吐量没有直接影响,对网络平均吞吐量有间接的影响。为了便于分析,本节定义数据包最大重传次数都为 1,分析不同队列长度下的网络性能。

由图 4(b)可知,队列长度的增加可以降低节点队列拥塞概率,从而降低丢包概率。另一方面,由于节点队列长度的增加,这将容许数据包在队列中等待更长的时间,因此网络平均延迟相应增加,如图 4(a)所示。同时,随机接入 Ad Hoc 网络性能是不稳定的,在相同的平均吞吐量情况下,网络存在两个平均延迟,一个是稳定的较小平均延迟,另一个是不稳定的较大平均延迟。虽然随机接入 Ad Hoc 网络是不稳定的,但在网络负载增大到使网络吞吐量达到最大值之前,系统具有较小的平均延迟与丢包概率,是一种有效的无线接入方式。

5.3 最大允许重传次数对网络性能的影响

为了便于分析,本节定义队列长度都为 1,分析不同数据包最大允许重传次数条件下的网络性能。在本节只能由于数据包持续发送失败导致持续的数据包重传,将严重增加网络平均延迟,为此,本文引入数据包最大允许重传次数 R_{\max} 。由图 5 可知,随着最大允许重传次数的增加,网络平均延迟明显增加,发送失败概率明显减小。较大的队列长度与数据包重传次数增加网络平均延迟,同时增加了数据包成功发送的概率,这一特性非常适合对丢包率要求较严格的业务类型,例如, TCP 等数据业务类型;而较小的队列长度与最大允许重传次数保持较小的延迟,这一特性非常适合对丢包率要求较低的业务类型,例如,语音,视频等多媒体业务。

6 结论

本文提出了一种新的应用于 Ad Hoc 网络的随机接入协议,基于接收节点扩频的 BSAC 协议。BSAC 协议结合了 S-ALOHA 和 CDMA 协议的优点,允许两个以上的数据包同时成功发送,相对于非编码 ALOHA 协议显著提高了性能。而且,BSAC 协议非常简单,适合应用于 Ad Hoc 网络,降低了系统复杂度。

本文首次提出并建立了考虑队列缓存机制的完整的

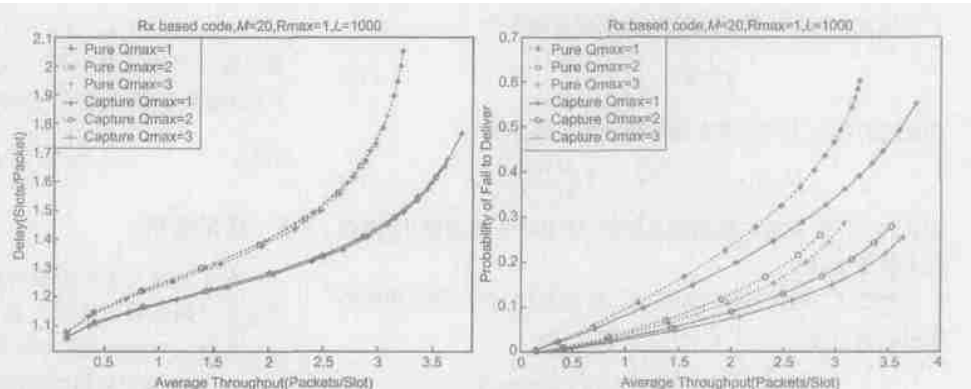


图 4 队列长度对网络性能的影响

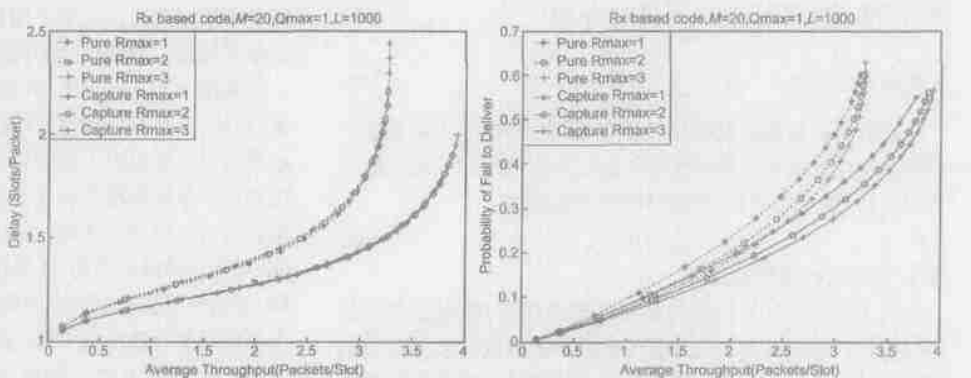


图 5 最大重传次数对网络性能的影响

Markov 链模型。此模型应用两个马尔可夫链模型,一个表示节点中的 $M/M/1/k$ 排队模型,另一个表示网络中活动节点数量。两个马尔可夫链模型通过节点空闲概率相互联系。此模型可以用于分析扩频增益、队列长度与最大允许重传次数对网络吞吐量、平均延迟与发送失败概率等网络性能的影响。而且,此模型提供了后续研究的分析方法,例如,重传策略的优化和冲突解决技术的研究等。

最后,本文给出了简化形式的吞吐量公式和吞吐量极限。这个结构不但有利于不同协议之间的性能比较,而且为无线网络设计提供了简单有效的参考工具。

本文主要结论包括:(1)增加扩频增益并不能真正提高网络性能;(2)数据包冲突问题是提高网络性能的主要障碍,解决数据包冲突问题是后续工作的重点,延迟捕获技术可以有效解决数据包冲突问题,相对于没有采用延迟捕获技术的 BSAC 协议,平均提高吞吐量 29.1%,最大吞吐量提高 20.8%;(3)BSAC 协议是不稳定协议,但是如果有效的控制网络负载等参数,它仍然可以作为一种有效的协议模型;(4)增加队列长度与最大允许重传次数可以降低丢包率,但这会导致网络延迟的增加。

本文建立的 Markov 链模型为后续研究随机接入 Ad Hoc 无线局域网提供了有效的方法,并且也同样适合中心控制类型的无线局域网的研究。

参考文献:

- [1] L Kleinrock, S S Lam. Packet switching in a multi-access broadcast

- channel: performance evaluation [J]. IEEE Trans Commun, 1975, 4 (23): 410 - 423.
- [2] E Sousa, J Silvester. Optimum transmission ranges in a direct-sequence spread-spectrum multihop packet radio network[J]. IEEE JSAC, 1990, 6(8): 762 - 771.
- [3] M Zorzi, S Pupolin. Optimum transmission ranges in multihop packet radio networks in the presence of fading [J]. IEEE Trans Commun, 1995, 7(43): 2201 - 2205.
- [4] Y Sanada, M Nakagawa. Power control techniques in a multihop CDMA packet radio network[J]. IEICE Trans Commun, 1996, 9(79): 1287 - 1294.
- [5] C J Wang, Y A Liu. Performance analysis of routing strategy MFR in Ad Hoc DS-CDMA network [A]. IEEE ICCT 2003 [C]. 2003, 4(2): 1274 - 1277.
- [6] J Q Bao, L Tong. A performance comparison between Ad Hoc and centrally controlled CDMA wireless LANs[J]. IEEE Trans Commun, 2002, 10(1): 829 - 841.
- [7] Q Zhao, L Tong. Semi-blind collision resolution in random access wireless Ad Hoc Networks[J]. IEEE Trans signal process, 2000, 10(48): 2910 - 2920.
- [8] L Tong, Q Zhao, G Mergen. Multipacket reception in random access wireless networks: from signal processing to optimal medium access control[J]. IEEE Commun Magazine, 2001, 11(39): 108 - 112.
- [9] D H Davis, S A Gronemeyer. Performance of slottedALOHA random access with delay capture and randomized time of arrival[J]. IEEE Trans Commun, 1980, 5(28): 703 - 710.
- [10] R K Morrow Jr., J S Lehnert. Bit-to-bit error dependence in slotted DS/SSMA packet systems with random signature sequences[J]. IEEE Trans Commun, 1989, 10(37): 1052 - 1061.

作者简介:



王春江 男, 1975年2月生于北京, 讲师, 2000年在西北工业大学电子工程系获硕士学位, 毕业后在总装备部装备指挥技术学院电子工程系工作, 现为北京邮电大学无线通信研究中心博士研究生, 主要研究方向为无线接入技术、无线局域网、无线ADHOC网络接入与路由技术研究等. E-mail: chunj. cn @sohu. com.

耿方萍 女, 北京, 博士, 北京邮电大学继续教育学院, 研究方向为无线通信技术及网络资源管理.



刘元安 男, 1963年12月20日生于四川省, 教授, 博士生导师, 中国电子学会和中国通信学会高级会员, 中国通信学会无线和移动通信委员会成员, 分别在1984年, 1989年, 1992年获得学士学位、硕士学位和博士学位, 1992~1994年在北京邮电大学做博士后研究, 1995年初评为教授, 1995年到1997年在加拿大 Carleton 大学系统与计算机工程系工作, 1997年回到北京邮电大学. 在国内外学术刊物发表研究论文70余篇, 包括 IEEE Transactions, 科学通报, 电子学报, 通信学报, 微波学报等, 出版专著4本, 获得国防科技进步1等奖1项、2等奖1项, 其它荣誉称号多项, 包括1999年获得国际无线电科学联盟 URSI 青年科学家奖, 目前, 申请日本发明专利3项, 中国发明专利5项, 目前的研究兴趣信息安全、移动通信等相关领域的理论和技术研究.

高锦春 女, 北京, 副教授, 硕士生导师, 北京邮电大学无线通信研究中心, 研究方向为无线通信技术、电磁场与微波技术.