

基于 ALOHA 的宽带接入技术研究

李建新, 刘增基, 郭 峰, 刘乃安

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室, 西安 710071)

摘 要: 本文研究了扩频技术与 ALOHA 技术相结合的扩频 ALOHA (SAMA) 多址接入协议的性能, 推导了通用的 ALOHA 系统吞吐性能表达式. 研究表明, 这种宽带随机多址接入技术能够大大提高网络吞吐量, 显著改善分组传输时延, 从而有利于满足未来无线数字网络对各种业务支持和服务质量的要求.

关键词: 宽带接入; 扩频 ALOHA; 移动计算网络

中图分类号: TN915.04 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 10-0086-03

Research on Wideband Access Based on ALOHA

LI Jian-xin, LIU Zeng-ji, GUO Feng, LIU Nai-an

(ISN National Key Lab of Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: The performance of Spread ALOHA Multiple Access (SAMA) is investigated, which combines virtues of pure ALOHA and spread spectrum technique. A more general expression to calculate throughput performance of ALOHA system is obtained. The result of research shows that this multiple access method is one of the promising candidates for the digital wireless network in the future which has the coming demand for supporting various traffics and QoS.

Key words: wideband access; SAMA; mobile computing network

1 引言

在无线数字网络系统中, 接入协议一直是人们研究的热点. 在一些具有微小区结构或业务量峰值/平均率高的系统中, 特别希望能采用一种简单、高效的接入技术. 随着世界各国对 ISM (Industry Science Medicine) 这一无需使用许可证频段的开放, 越来越多的用户都希望通过采用扩频技术来使用这一宝贵资源.

以 ALOHA 为代表的随机接入协议具有简洁、方便的特点, 被广泛应用于无线移动通信系统中. 但由于碰撞现象的发生, 即在信道中不能同时传输一个以上的分组, 使得系统的最大吞吐率只能达到 $0.184^{[1]}$.

扩频技术由于具有抗多径、抗多种干扰、低功率谱密度及多址能力强等特点而被广泛地应用于移动通信领域. 在 CDMA 系统中, 多个用户在同一频段同时进行的数据传输只造成类似背景噪声的多址干扰 (MAI) 而不会造成分组的碰撞丢失. 因此, 把扩频技术和 ALOHA 技术的优点结合起来, 针对一定的应用环境, 就可以设计出新的、简洁、高效的宽带接入协议. 这就是扩频 ALOHA (Spread ALOHA Multiple Access), 以下简称 SAMA, 这里把采用 SAMA 接入协议的系统称为 SAMA 系统.

SAMA 由 Norman Abramson 首先提出^[2,3], 但在它的文章中并没有对此接入技术做具体的性能分析. 本文分析了 SAMA 系

统的吞吐和时延特性, 并研究了多址干扰对系统性能的影响, 得到了一个更通用的 ALOHA 系统吞吐特性表达式.

2 SAMA 原理

假定一个具有微微蜂窝结构的无线小区, 它由一个基站和若干移动终端组成. 下行信道采用广播方式, 上行信道采用随机竞争的 SAMA 协议. SAMA 技术属于随机多址接入技术. 在通常的 CDMA 系统中, 不同的用户使用不同的扩频伪码, 是一种多码扩频系统. 而在 SAMA 系统中, 每个用户都利用共同的一条伪码对数据进行扩频, 属于一种单码扩频系统.

当任意一个移动终端需要传输数据时, 就直接发送, 不需要监听信道, 如同 ALOHA 一样简化了传输控制.

SAMA 系统接收机的工作原理可用图 1 说明. 基站采用匹配滤波器结构的接收机. 图 1 绘出了信道中只有一个分组 (A 分组) 和同时有两个分组 (A 分组和 B 分组) 传输时, 接收机匹配滤波器的输出相关峰波形. 图中, d 是 A 、 B 两个分组到达接收机的时间偏差, 这个时间偏差在 A 、 B 分组传输结束之前固定不变, 而且同一分组相邻相关峰的时间间隔是固定的单位比特时间长度. 因此, 根据相关峰之间的这种固定时间关系和分组中的地址或内容, 通过对接收数据的处理就可分离出不同的用户分组. 多于两个分组的传输情况, 与此类似.

3 性能分析

假定分组到达基站的时间间隔服从负指数分布. 每个分

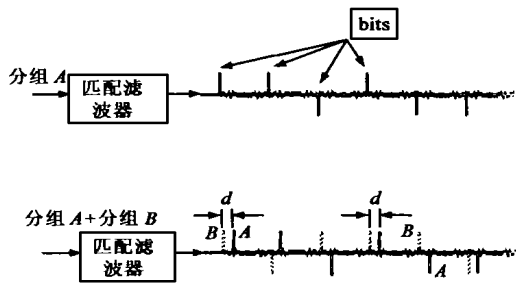


图 1 SAMA 系统基站接收机输出相关峰波形

组长度为定长 T_p , 由 L 比特组成, 伪码长度为 N , 伪码宽度为 T_c , 系统的业务量为 G , 成功传输的业务量为 S . 接收机匹配滤波器的分辨率定义为能分辨出相邻相关峰的最小间隔. 由伪码的自相关特性可知伪码自相关峰值的最大宽度为 1 chip, 所以匹配滤波器的分辨率为 1 chip. 理想情况下, 只要相邻两个分组的到达时刻不恰好落在 $1 T_c$ 间隔内, 就可以被正确分离, 不会发生碰撞. 如果发生碰撞或由于信道干扰造成传输错误, 则由延时重传来解决.

3.1 SAMA 碰撞窗口

在分析碰撞时, 本文考虑最恶劣的情况, 即分组的最后一个比特发生碰撞也认为分组传输失败. 由于匹配滤波器的分辨率为 1 chip, 那么一个比特易损区间为 T_c . 为了保证分组的全部比特不发生碰撞就需要考虑两个分组长度 ($2L$ 比特). 由于负指数分布的无记忆特性, 可以得到 SAMA 系统的碰撞窗口为 $2 * L * T_c$, 归一化后为 $2/N$, 与纯 ALOHA 不同的是 SAMA 的碰撞窗口是离散的. 图 2 是 SAMA 的碰撞窗口示意图.

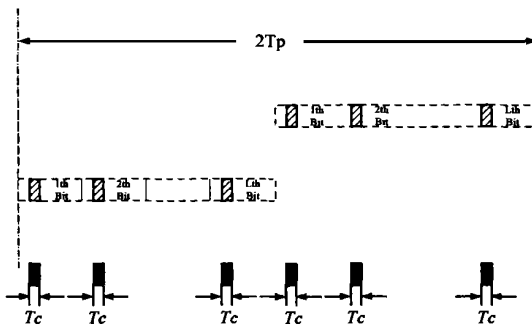


图 2 SAMA 的碰撞窗口

3.2 吞吐特性

S-G 分析是用来分析 ALOHA 系统吞吐量、时延特性的动态分析方法^[1]. 系统的吞吐量 S 可表示为:

$$S = G * P_0 \tag{1}$$

其中 P_0 是分组成功传输的概率. 在这里忽略信道噪声和干扰造成的影响, 只考虑碰撞现象. 则任一分组正确传输的概率可等价为: 在碰撞窗口 ($2 * L * T_c$) 的时间内, 没有其它分组到达的概率. 即

$$P_0 = e^{-2GN} \tag{2}$$

所以有

$$S = G * P_0 = G e^{-2GN} \tag{3}$$

由 SAMA 原理可知, 当扩频伪码长度 $N = 1$ 时, 即没有采用扩频时, 它就是纯 ALOHA 系统. 所以式 (3) 是一种更通用的 ALOHA 系统吞吐特性表达式.

3.3 时延特性

下面对系统的时延特性进行分析. 如果分组传输失败, 采用参数为 k 的均匀分布的随机数退避算法, 即在 $[1, k]$ 期间随机产生退避时间. 因此归一化平均报文时延 D 可表示为^[4]:

$$D = 1 + \frac{E}{G} \tag{4}$$

式中 1 是成功传输一次的归一化时延; a 是归一化的传播时延, 这里取 $a = 0$; E 是平均重传次数, 是每次重传产生的平均时延. 由 G 和 S 的含义可知一个分组的平均传输次数就等于 G/S , 那么 $E = (G/S) - 1 = e^{2GN} - 1$. 的大小与重传策略直接相关, 在文中采用的重传策略下, $E = (k+1)/2$. 于是有:

$$D = 1 + \frac{(e^{2GN} - 1)(k+1)/2}{G} \tag{5}$$

3.4 数值和仿真结果

为了验证 SAMA 系统碰撞窗口和碰撞概率的理论结果, 采用 Monte-Carlo 方法^[5]对 SAMA 系统的吞吐特性进行了仿真, 结果如图 3 所示. 图 4 是根据式 (5) 得到的 SAMA 系统时延特性曲线.

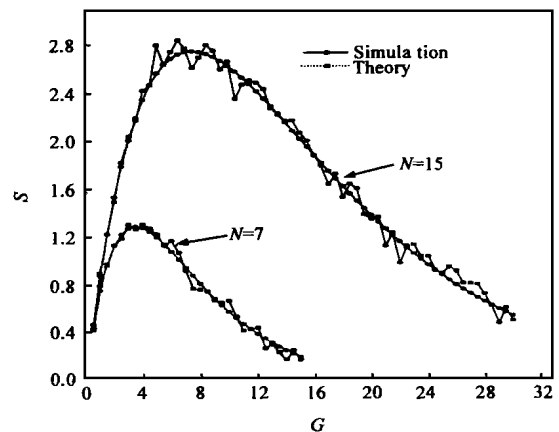


图 3 SAMA 系统吞吐特性

通过仿真可以看到, 理论结果与计算机仿真相符, 进一步还可以得出以下结论:

(1) 纯 ALOHA 的系统吞吐量在 $G = 0.5$ 时, 取得最大值 0.184; SAMA 系统吞吐量的最大值在 $G = N/2$ 处获得, 最大吞吐量为 $0.184 * N$.

(2) 在业务量一定的情况下, SAMA 系统的时延特性随着伪码长度的增加指数减小, 这是因为碰撞概率随着扩频伪码长度的增加指数减小的缘故.

4 实际环境中 SAMA 系统的吞吐特性

在前面的分析中, 集中地分析了碰撞效应对 SAMA 系统的影响, 忽略了干扰和噪声. 但在实际系统中, 特别是在扩频多址系统中, 多址接入干扰是影响系统容量的主要因素. 在

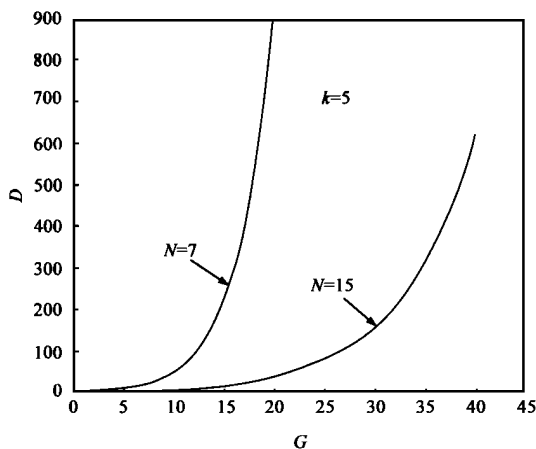


图4 SAMA系统时延特性

SAMA系统中,多个分组同时传输即使分组之间没有碰撞,相互之间的多址干扰也有可能造成传输失败,影响系统性能.因此研究了多址干扰对分组传输的影响.假定信道噪声为高斯白噪声.

4.1 多址干扰下的分组传输失败概率

假定由于干扰和噪声造成的比特传输错误相互独立,则分组传输成功的概率 P_c 为:

$$P_c = (1 - P_b)^L \quad (6)$$

其中 P_b 为误比特率.扩频多址通信系统的误比特率可由下式求出^[6].

$$P_b(k) = \frac{2}{3} Q\left(\frac{k}{3N} + \frac{N_0}{2E_b}\right)^{-1/2} + \frac{1}{6} Q\left(\frac{k \cdot N/3 + \sqrt{3}}{N^2} + \frac{N_0}{2E_b}\right)^{-1/2} + \frac{1}{6} Q\left(\frac{k \cdot N/3 - \sqrt{3}}{N^2} + \frac{N_0}{2E_b}\right)^{-1/2} \quad (7)$$

其中: N 为扩频码长; N_0 为单边噪声功率谱密度; E_b 是单位比特信号能量; k 为干扰用户的个数;

$$^2 = k/N^2 \frac{23}{360} + N\left(\frac{1}{20} + \frac{k-1}{36}\right) - \frac{1}{20} - \frac{k-1}{36} \quad (8)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp(-\mu^2/2) d\mu \quad (9)$$

在扩频随机多址接入系统中,某一时刻的信道中同时传输的分组个数是随机变量.定长分组个数符合 $M/D/1$ 的排队模型^[7],而对这种模型的分析到目前尚未能得到一种好的结论.因此一般都采用近似或进行仿真的办法来解决.在假定的无线数据网络模型中,系统的业务量具有峰值/平均率高、通常业务量较低的特点.本文使用 Monte-Carlo 方法,通过计算机模拟得到:对于随机接入的扩频系统,在业务量较小的情况下,用业务量的均值来代替信道中同时传输的分组个数计算所得到的误帧率结果是可用的,用此结果对系统性能进行的定性分析是可信的.

4.2 多址干扰下的 SAMA 系统吞吐特性

由上面的分析得到,考虑了碰撞和多址干扰影响的实际 SAMA 系统吞吐特性为:

$$S = G \cdot P_0 \cdot P_c = G e^{-2G/N} \cdot P_c \quad (10)$$

其中: P_0 是考虑碰撞现象后得到的成功传输概率,由式 2 决

定: P_c 是多址干扰下,成功传输的概率,由式(7~9)决定.

4.3 数值结果

图 5 是式(10)的数值结果.由图可见:

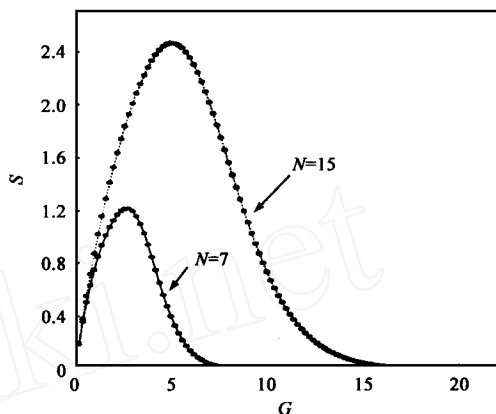


图5 实际环境 SAMA 系统的吞吐特性

(1) 在考虑了 MAI 干扰后,系统的最大吞吐率降低了 8% 左右.这说明在 SAMA 系统中,碰撞效应对系统的影响要远远大于干扰和噪声.

(2) 到达最大吞吐率的业务量也由 $N/2$ 转移到 $N/3$.

(3) 证明了 SAMA 作为一种单码传输的随机接入技术,在性能上不比多码 CDMA 随机接入差.因为多码 CDMA 随机接入系统的最大吞吐率在 0.1 到 0.2 之间^[8-10].

5 结论

通过对 SAMA 的分析可以看到就频带的利用效率而言, SAMA 与纯 ALOHA 是一样的.但宽带的 SAMA 技术本身具有的抗干扰优点是窄带 ALOHA 所不具有的.而且,在 SAMA 系统中,随着扩频伪码长度的变化,可提供的信道数及时延特性随之变化的特点,也为这种协议对今后多媒体业务的支持提供了可能性.

作者简介:



李建新 1991.7、1997.3 分别于西安电子科技大学获得工学学士和工学硕士学位.1998.2~1999.1 在日本静冈大学通信实验室从事宽带无线网络接入技术的研究工作.目前,在西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室攻读博士学位.感兴趣的研究领域是宽带 CDMA 网络和 ASIC 设计.



刘增基 西安电子科技大学教授、博士生导师、中国通信学会会员.现任综合业务网理论及关键技术国家重点实验室主任.当前主要的研究兴趣是 ATM 及宽带综合接入技术.

(下转第 85 页)

相对价格对本文方法流准入率和网络收益的影响.从图中可以看出,在同样的网络条件下,该方法的准入区比文[8]大(见图3).计算结果表明,相对准入优先权(价格)可以作为控制负载的一种手段,本例中随着第2类流相对优先权的增大,虽然第2类流的准入数目有所下降,但第1类流的数目却有上升,从而总体准入度提高,但超过一定阈值后,无法进一步提高(见图4(a));与此同时网络收益也随之变化,先上升到一个上限,然后逐渐下降(见图4(b)).

6 结论

本文提出一个基于统计型 QoS 的准入控制方法,利用流的丢失率和延迟分布要求与资源要求的关系及负载优化,改善流准入度和提高网络收益.还有一些更深入的问题需要进一步研究,例如如何考虑流的延迟抖动要求,降低计算复杂度等.

参考文献:

- [1] Firoiu V, Kurose J, Towsley D. Efficient admission control of piecewise linear traffic envelopes at EDF schedulers [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 1998, 6(5): 558 - 570.
- [2] Elwalid A, Debasis M. Effective bandwidth of general markovian traffic sources and admission control of high speed networks [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 1993, 1(3): 329 - 343.
- [3] Lee H and Nemoto Y. Providing the statistical QoS objectives in high-speed networks [J]. Computer Networks and ISDN Systems, 1997, 29(16): 1919 - 1931.
- [4] Luenberger D G. Linear and Nonlinear Programming (2nded.) [M], Reading, MA: Addison-Wesley, 1984.
- [5] Parekh A K, Gallager R G. A generalized processor sharing approach to flow control in integrated serices networks: The single-node case [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 1993, 1(3): 344 - 357.

- [6] Perros H G, Elsayed K M. Call admission control schemes: A Review [J]. IEEE Commun Mag. 1996, 34(11): 82 - 91.
- [7] Varian H. Microeconomic Analysis (3rded.) [M]. New York: W. W. Norton & Company, 1992.
- [8] Zhang Z -L, Zhen L, Kurose J, Towsley D. Call admission control schemes under generalized processor sharing scheduling [J]. Telecomm Systm., 1997, 7: 125 - 152.
- [9] 傅晓明, 张尧学等. 一种基于市场模型的网络带宽分配方法. 电子学报, 1999, 27(9): 127 - 129.
- [10] CHEN Hua, ZHANG Yao-xue, CHEN Kang-fu. Multimedia Quality-of-Service (QoS) classification and negotiation manager [J]. Chinese Journal of Electronics, 1998, 7(1): 44 - 48.
- [11] ZHANG Yao-xue, CHEN Hua et al. The design and implementation of a QoS control mechanism based on perceptual time channel [J]. Journal of Japanese Information Processing Society, 1999, 40(9): 3564 - 3576.

作者简介:



傅晓明 1973 年出生, 1994 年和 1997 年分别获学士和硕士学位, 现为清华大学计算机系博士生, 主要研究领域为因特网中端到端的服务质量控制, 网络资源管理等。



张尧学 1956 年出生, 工学博士, 清华大学计算机系教授, 博士生导师, 主要研究方向为高速网络互连, 网络协议工程, 网络服务质量和网络操作系统等。

(上接第 88 页)

参考文献:

- [1] N. Abramson. The throughput of packet broadcasting channels [J]. IEEE Trans. on Communications, 1977, 25(1): 117 - 128.
- [2] N. Abramson. VAST data networks [C]. Proc. IEEE [A], 1990, 78(7): 1267 - 1274.
- [3] N. Abramson. Multiple access in wireless digital networks [A]. Proceedings of the IEEE [C], 1994, 82(9): 1360 - 1368.
- [4] 林生. 计算机通信网原理 [M]. 西安市: 西安电子科技大学出版社, 1995
- [5] 方再根. 计算机模拟和蒙特卡洛方法 [M]. 北京市: 北京工业大学出版社, 1988
- [6] J. M. Holtzman. A simple, accurate method to calculate spread spectrum

multiple access error probabilities [J]. IEEE Trans. on Communications, 1989, 40(7): 1223 - 1230.

- [7] H. Okada, T. Sato et al. CDMA unslotted ALOHA systems with packet retransmission control [J]. IEICE Trans Fundamentals, 1996, E79 - A(7).
- [8] G.L. Turin. The effects of multipath and fading on the performance of direct-sequence CDMA systems [J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communication, 1984, SAC-2(4): 597 - 603.
- [9] Picholtz et al. Theory of spread-spectrum communications — A tutorial [J]. IEEE Transactions on Communications, 1982, 30(5): 855 - 884.
- [10] J. Y. N. Hui. Throughput analysis for code division multiple accessing of the spread spectrum channel [J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communication. 1984, SAC-2(4): 482 - 486