昆明学院学报　2017, 39(6):68~71　ISSN 1674-5639　CN 53-1211/G4
Journal of Kunming University

P-概率区分时隙随机多址协议研究

余　英,袁凌云*
(云南师范大学 信息学院,云南 昆明 650500)

摘要:为改进时隙式随机多址协议的吞吐率性能,文献[13]对信道占用存在的3种事件分配了不同的时隙类型,其中空闲和碰撞事件分配短时隙,成功事件分配长时隙.基于以上时隙划分,提出在报文接入过程中加以概率控制的新思想,并采用平均周期方法进行分析.结果表明,系统吞吐率性能明显改善,数学解析和计算机仿真结论一致.

关键词:时隙式随机多址;*P*-概率;平均周期方法;吞吐率
中图分类号:TN914.5　**文献标识码**:A　**文章编号**:1674-5639(2017)06-0068-04
DOI:10.14091/j.cnki.kmxyxb.2017.06.015

Study on Distinguish Slots Random Multi-access Protocol with *P*-probability

YU Ying, YUAN Lingyun*
(College of Information Science and Techno, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan, China　650500)

Abstract: In order to improve the performance of slotted random multi-access protocol, three types of competitive channel events were allotted in different slots in document 13, among which short slots were allotted for the idle and collision events; long slots were assigned for success events. Based on the above slots division, a new idea of *P*-probability control in packet access is proposed and gets the better throughput performance. By using average cycle method, the conclusions of mathematical modeling and computer simulation are consistent.

Key words: slotted random multi-access; *P*-probability; average cycle method; throughput

随机多址接入控制协议最初的思想是:对公共信道而言,站点有报文就发,若碰撞发生,站点就采用预定的策略重发,直到发送成功或中断发送.这就是1970年诞生于夏威夷大学的连续时间无线通信系统ALOHA.鉴于该系统站点接入信道不需要同步,报文发送简单直接,比较适用于信道低负载的传输,但由于该系统发送过程中最长两个报文的碰撞期间,导致系统吞吐率性能较低.为提高系统的吞吐率,在以后的应用中相继提出了扩频ALOHA,S-ALOHA及预约ALOHA等协议,为增加冲突避免机制又扩展了1-坚持CSMA、非坚持CSMA、*P*-坚持CSMA,CSMA/CD,CSMA/CA等协议[1].近年来,随机多址通信协议得到了极大的丰富和发展,进一步扩展了该协议在卫星通信、无线传感器网络、体域网、车载自主网等领域更为广泛的应用[2-12],因此对协议进行深入研究有着积极的意义.在通信网络中,吞吐率是衡量网络通信效率的一个重要指标,而协议设计对提高吞吐率起到至关重要的作用,鉴于随机多址通信协议的特点,文献[8~10]的改进主要集中在两个方面:首先是协议中帧结构的设计,其次是碰撞发生后如何重发的问题.文献[13]提出区分时隙随机多址系统的思想,并完成了新协议的数学解析及计算机仿真.为此,本文进一步提出*P*-概率区分时隙控制接入信道的思想,是对该文献所做工作的进一步推进.

1　时隙式随机多址系统平均周期划分方法

在时隙式随机多址系统中,报文以时隙为发送单位,当前时隙到达的报文需在下一个时隙开始时

收稿日期:2017-10-12
基金项目:国家自然科学基金资助项目(61561055);教育部人文社会科学研究青年基金资助项目(13YJCZH233).
作者简介:余英(1965—),女,云南昆明人,副教授,主要从事网络通信研究.
* **通讯作者**:袁凌云(1980—),女,云南昭通人,副教授,主要从事无线传感器网络、物联网技术研究,E-mail: blues520@sina.com.

才发送,由于共享信道的特性,发送是以竞争的方式进行,于是在一个竞争时隙内可能出现 3 类事件,即成功事件 U、碰撞时隙 B 及空闲时隙 I. 下图 1 ~ 图 5 中的“↓”表示到达某站点等待接入信道的报文,U 事件以空矩形框表示,B 事件以矩形框中带“×”表示,I 事件即是无框部分. 为分析时隙式随机多址系统的吞吐率特性,将在公共信道时间轴上发生的 3 类事件做如下划分,可得到平均周期定义[14].

定义 1　将 B 和 I 合并为一种事件 BI,于是 U 和 BI 两种事件在竞争时隙内交替出现,形成一个周期事件,将该周期定义为 Tu. 如图 1 所示.

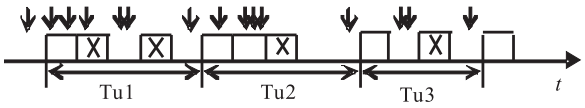

图1　U-BI平均周期定义

定义 2　将 U 和 I 合并为一种事件 UI,于是 B 和 UI 两种事件在竞争时隙内交替出现,形成一个周期事件,将该周期定义为 Tb. 如图 2 所示.

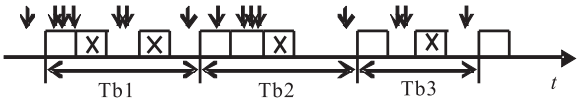

图2　B-UI平均周期定义

定义 3　将 B 和 U 合并为一种事件 BU,于是 I 和 BU 两种事件在竞争时隙内交替出现,形成一个周期事件,将该周期定义为 Ti. 如图 3 所示.

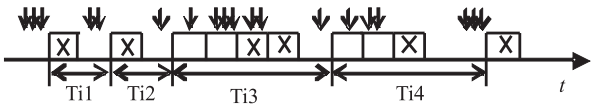

图3　I-BU时隙平均周期定义

文献[14 ~ 15]基于以上平均周期划分,有效分析了系统吞吐率性能,在时隙式随机多址系统中,一个时隙的时间长度可以依据报文传送特性作相应的定义. 文献[13]定义了统一短时隙、统一长时隙及区分时隙. 其中统一短时隙是指将成功、碰撞及空闲 3 种事件的时隙划分定义为定长 τ(报文传输端到端延迟),统一长时隙是指将 3 种事件的时隙划分都定义为 $n\tau$(整个报文传送的时间长度). 这两种时隙定义如图 1 ~ 图 3 所示,每个时隙长度定义为 τ 或 $n\tau$. 而区分时隙定义的关键在于争用信道过程中,为有效提高信道的利用率,采用了一种有区别的时隙分配,即空闲和碰撞时隙占用短时隙 τ,而成功事件占用了长时隙 $n\tau$,如图 4 所示. 运用平均周期分析方法中的 U-BI 划分得到 3 种时隙定义下的系统吞吐率解析式,文献[13]表明,吞吐率性能最好的是区分时隙定义.

图4　U-BI区分时隙平均周期定义

2　*P*-概率区分时隙随机多址接入定义及性能分析

分析以上区分时隙,在报文到达率增大时,由于成功事件占据了长时隙,在发送本报文的时间内自然累积了较多的待发报文,接入效率明显降低. 为了解决以上问题,提出基于 *P*-概率的区分时隙信道接入策略,定义如下:

定义 4　若出现第 1 个 *U* 事件,则在随后的每一个 U 事件中采用 *P*- 概率接入,如图 5 所示.

图中出现 4 个成功时隙,其中第 3 个成功时隙内有 3 个待发报文,按 *P*- 概率选择后,2 个报文被滞留(上箭头 ↑ 表示),剩下 1 个报文进入信道并成功发送,第 4 个成功时隙内有 4 个待发报文,按 *P*- 概率选择后,2 个滞留 2 个发送,于是下一时隙出现碰撞.

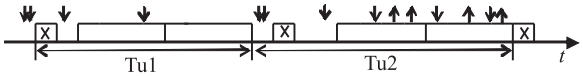

图5　U-BI划分的*P*-概率接入区分时隙平均周期定义

按照以上定义,区分时隙中的 U 事件的长度包含以下两个部分.

1)U 事件的第 1 部分是第 1 个 U 时段,其平均时隙长度如公式(1)所示.

$$E(U_1) = n\tau G\mathrm{e}^{-G}. \tag{1}$$

2)U 事件的第 2 部分是从第 2 个 U 时段到最后 1 个 U 时段的事件,公式(2) 定义了 $n\tau$ 时间内信道进入 k 个报文的概率.

$$P(A_k) = \frac{(nG)^k}{k!}\mathrm{e}^{-nG}. \tag{2}$$

基于公式(2),在 *P*- 概率控制下,$n\tau$ 时间内信道进入 1 个报文的概率为公式(3).

$$q_1 = \sum_{k=1}^{\infty} P(A_k) C_k^1 p(1-p)^{k-1} = pnG\mathrm{e}^{-pnG}. \tag{3}$$

由此,U 事件的第 2 部分占用的平均时隙长度为公式(4).

$$E(U_2) = n\tau \sum_{k=1}^{\infty} k(1 - pnG\mathrm{e}^{-pnG})(pnG\mathrm{e}^{-pnG})^{k-1}$$

$$= \frac{n\tau}{1 - pnGe^{-pnG}}. \tag{4}$$

整个 U 事件的平均时隙长度为公式(5).

$$E(U) = E(U_1) + E(U_2). \tag{5}$$

类似地,BI 事件的平均周期长度也划分为两段,第1段是BI事件的第1个时隙,平均时隙长度为公式(6).

$$E(BI_1) = \tau(1 - nGe^{-nG}). \tag{6}$$

BI 事件的第2部分是从第2个BI时段到最后1个 BI 时段的事件,公式(7) 定义了 τ 时间内进入 k 个报文的概率.

$$E(BI_2) = \tau\sum_{k=1}^{\infty} kGe^{-G}(1 - Ge^{-G})^{k-1}$$

$$= \frac{\tau}{Ge^{-G}}. \tag{7}$$

BI 事件的平均时隙长度为公式(8).

$$E(BI) = E(BI_1) + E(BI_2). \tag{8}$$

根据平均周期定义,由公式(5) 和公式(8),得到 P- 概率区分时隙随机多址接入信道吞吐率公式(9).

$$S = \frac{E(U)}{E(U) + E(BI)} = \frac{n(Ge^{-G})^2(1 - npGe^{-npG}) + nGe^{-G}}{(1 - npGe^{-npG})(n(Ge^{-G})^2 - nG^2e^{-G}e^{-nG} + Ge^{-G} + 1) + nGe^{-G}}. \tag{9}$$

3 *P*-概率区分时隙随机多址接入性能仿真分析

在数学解析的基础上,通过计算机仿真实验得到图6所示系统的吞吐率特性曲线. 从图6可知,仿真实验结果与数学解析结果完全一致,进一步验证了理论分析的有效性. 实验中计算机仿真环境是 Matlab 7.10,进入系统的数据包数量由泊松分布随机数函数 poissrnd(G,1,1)产生,其中 BI 事件占1个时隙,U 事件占10个时隙.

分析图6得到4种时隙接入定义下的系统吞吐率特性:1) 统一长时隙与统一短时隙吞吐率性能较低,其中统一长时隙最差. 2) 区分时隙有着极大的吞吐率性能提升,而在区分时隙基础上提出的 P- 概率区分时隙的定义进一步提升了报文发送效率. 图6中选取了4个 P 值,从图6中看出:P 值较大时,吞吐率性能只有低到达率时有改善;P 值选取适当,吞吐率整体改善效果明显;P 值较小时,对低到达率接入不利. 3)4种时隙接入最大吞吐率特性为:统一长时隙的最大吞吐率 $S_{max} \approx 0.27$ 出现在到达率 $G = 0.2$ 时;其他3类时隙接入最大吞吐率大致出现在到达率 $G = 1$ 时,统一短时隙 $S_{max} \approx 0.37$,区分时隙 $S_{max} \approx 0.8$,P- 概率区分时隙 $S_{max} \approx 0.85$.

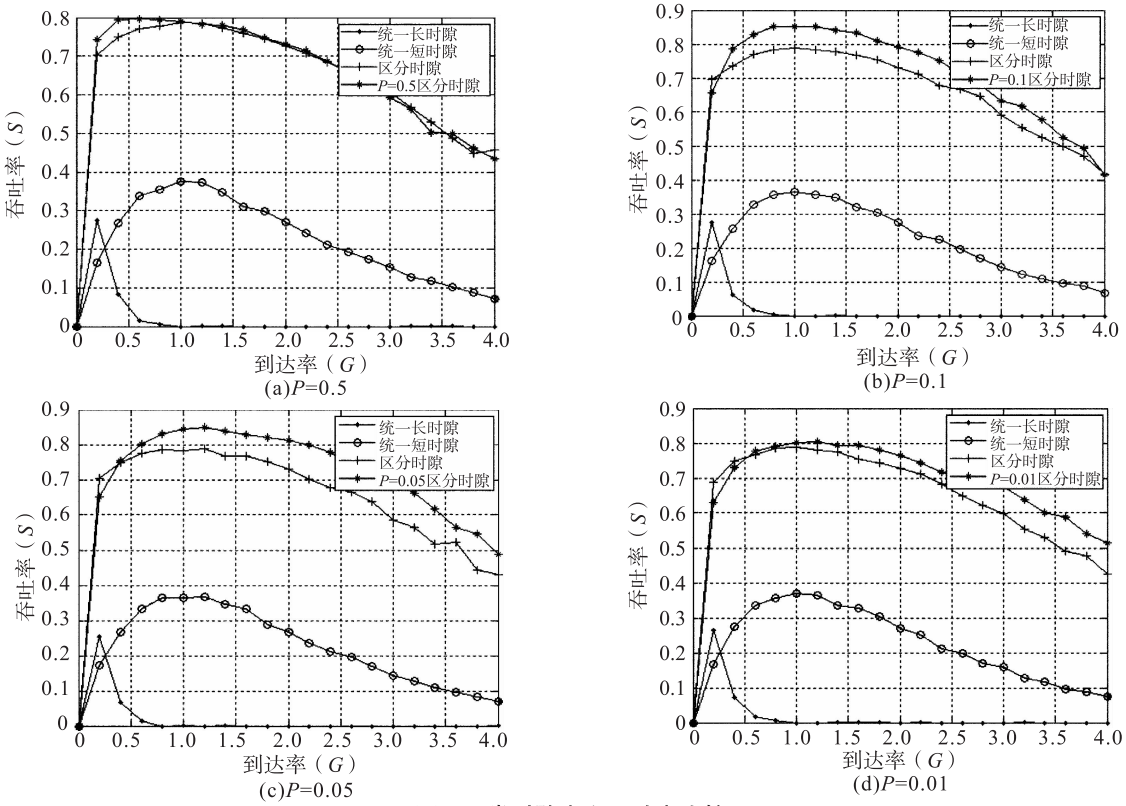

图6 4类时隙定义吞吐率比较

从以上吞吐率特性分析可得下述结论:1) 统一长时隙由于每个时隙太长,累积的报文数量过多,频繁的碰撞导致系统吞吐率急剧下滑,是 4 种时隙定义中最不可取的一种. 2) 统一短时隙的整体性能比统一长时隙有所提升,但完整报文(占 $n\tau$) 被拆成小时隙(占 τ) 后,发送过程中碰撞的发生导致接收端需重新拼合前后到达的内容,对报文发送时延影响较大,不适合有实时性要求的业务传送. 3) 区分时隙定义缩短了空闲和碰撞的时隙长度,避免了报文在更长时间数量的积累. 加长了成功时隙的长度,保证了报文传送的完整度,显著提高了系统的吞吐率及实时传输特性. 4) 对 P- 概率接入,报文传送整体性能对比前 3 种接入方式有明显提升. 在测试到达率变化的前提下可考虑调整 P 值:即低到达率时,加大 P 值;高到达率时,合理降低 P 值. 也就是在报文传送过程中根据到达率的变化进行动态调整.

4　结语

本文提出了一种新的带 P- 概率的区分时隙随机多址接入系统,通过 P- 概率控制成功长时隙中新进报文数量,提高了后续报文发送的吞吐率. 数学解析和计算机仿真实验表明,本文对协议的改进效果明显. 近年来,随着各类通信网络的兴起,随机多址接入协议得到进一步发展,在吞吐率的改善方面提出了一些新的方法,其中较为有效的是多信道、跨层设计等,这些都是未来研究中可以和本文结合,并进一步向前推进的方向.

[参考文献]

[1] 吴彬. 共享频谱无线系统中时隙 ALOHA 技术研究[D]. 南京:南京邮电大学,2012.

[2] LAITRAKUN S, COYLE E J. Reliability-based splitting algorithms for time-constrained distributed detection in random-access WSNs[J]. IEEE Transactions on Signal Processing,2013,62(21):5536 - 5551.

[3] 陶孝锋,任德锋,董超,等. 卫星通信系统中的 ALOHA 技术[J]. 空间电子技,2014(1):59 - 62.

[4] LI C F,ZHOU S J,DING H W,et al. A time division p-persistent random multi-channel access protocol with three-way handshake mechanism[J]. International Journal of Recent Scientific Reserch,2015,12(6):7924 - 7928.

[5] 何晋,陈思洋,朱西平. 基于 IEEE 802.11P 的车载自组网 MAC 层接入算法 RLBSA[J]. 电子科技大学学报,2015(5):674 - 679.

[6] ZHENG J,ZHANG H,CAI Y,et al. Game-theoretic multi-channel multi-access in energy harvesting wireless sensor networks[J]. IEEE Sensors Journal,2016,16(11):4587 - 4594.

[7] 孙泽华. 认知无线传感器网络 MAC 协议研究[D]. 重庆:重庆邮电大学,2016.

[8] 赵安华,王英龙,舒明雷,等. 一种改进的无线体域网 MAC 协议[J]. 计算机技术与发展,2017,27(2):167 - 170.

[9] 丁治国,雷迎科. 基于优先级避让的防碰撞算法研究[J]. 计算机应用研究,2016,33(3):836 - 839.

[10] 宋明红,马荣飞. 博弈论的载波侦听碰撞避免多址接入协议研究[J]. 计算机与数字工程,2016,44(12):2442 - 2446,2487.

[11] 冯诚,李治军,姜守旭. 无线移动多信道感知网络上的数据聚集传输规划[J]. 计算机学报,2016,39(3):931 - 945.

[12] 周占颖. 无线传感器网络跨层 MAC 协议研究[D]. 吉林:吉林大学,2016.

[13] 余英,袁凌云,匡玉兰. 时隙式随机多址系统平均周期分析方法研究[J]. 云南师范大学学报(自然科学版),2013,33(6):1 - 5.

[14] 赵东风,李必海,郑苏民. 一种新的时隙式随机多址系统分析方法研究[J]. 电子科学学刊,1997(6):814 - 819.

[15] 舍明辉,赵东风. 基于随机多址协议的系统吞吐量分析[J]. 吉林大学学报(信息科学版),2010,28(1):13 - 19.