

一种基于多信道统计的 Ad Hoc 网络 MAC 层协议

卞东亮¹, 张红梅¹, 彭沙沙¹, 赵玉亭²

(1. 空军工程大学理学院, 陕西西安, 710051;

2. 国防科技工业(西北)特种制造技术研究应用中心, 陕西西安, 710072)

摘要 针对现代战场对新型数据链提高实时精确打击能力, 在网络高负载时传输低延时的要求, 以 Ad Hoc 网络为基础, 其相应 MAC 层提出了一种基于多信道优先级统计的算法(PSMC)。协议采用将优先级阈值与信道统计作对比的方式, 判定数据是否发送。同时采用时槽、信元等机制保障数据发送的可靠性。PSMC 协议能够保证数据的成功发送延时维持在极低水平, 较好地满足各优先级业务的 QoS, 尤其对较高优先级的业务提供了实时、安全的保障; 较之经典的 ALOHA、Slotted ALOHA 协议, 结果表明 PSMC 协议可以承载较大的流量负荷, 保证较高的吞吐量, 甚至在网络超载的情况下, 通过截流的方式仍然能够保障整个网络系统继续工作, 不至于快速崩溃。

关键词 移动自组织网; 数据链; 多信道; 介质访问控制

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.01.018

中图分类号 TP393 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)01-0080-05

An Improved Protocol of Ad Hoc Based on Multichannel Statistics on MAC Layer

BIAN Dong-liang¹, ZHANG Hong-mei¹, PENG Sha-sha¹, ZHAO Yu-ting²

(1. Science College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2. Defense Technology Industries (Northwestern) Special Manufacturing Technology Research and Application Center, Xi'an 710072, China)

ABSTRACT: For improving real-time accurate strike capability and the low delay transmission in high traffic-load of new data link in the modern battlefield, the MAC layer adopts an improved algorithm named Priority Statistic based on Multichannel Access Method(PSMC) with Ad Hoc network as a basis. In the protocol the mode of comparing the priority threshold value with the channel occupancy statistics is adopted to determine whether to transmit the data or not. Also mini-slot and cell are adopted to protect data transmission reliability. Simulation results show that PSMC protocol can ensure that successful sending of data be maintained at the level of very low delay and satisfy the QoS of every Priority, especially provide real-time, safe guarantee for the high-priority. Compared to classic protocol of ALOHA, Slotted ALOHA, the results show that PSMC can carry heavy traffic load and ensure high throughput. Even in the case of overloading, it also can go on working with throttling back traffic.

Key words: ad hoc; data link; multichannel; MAC

收稿日期: 2012-07-03

基金项目: 陕西省电子信息系统综合集成重点实验室基金资助项目(201107Y16)

作者简介: 卞东亮(1988—), 男, 山东乐陵人, 硕士生, 主要从事信息系统建模与仿真研究。

E-mail: dangerous3.student@sina.com

自 20 世纪 50 年代以来,美军对数据链的研究已经形成了庞大的体系,相继成果有 Link-4、Link-11、Link-16 及 Link-22 等等。美军现装备的数据链 Link-16 虽然有着较强的战场态势感知能力和战场全局的控制能力,但是对于机动性很强的移动性武器装备的实时精确打击能力却较差^[1]。

基于此原因,国内外很多研究学者在 Link-11 和 Link-16 分别采用的轮询协议和 TDMA 协议(主要是 TDMA)上进行了相应的协议改进。比如窦维江在传统的 TDMA 协议基础上提出了一套 TDMA 分布式动态时隙分配的算法^[2]。高章飞等基于有限域等理论,提出了一种有关 TSMA 调度算法的有效分析模型^[3]。这些改进算法虽然对传输的延时有所降低,但是它们并没有脱离 TDMA 协议的限制,即用户发送定时导致了较大的发送等待。因此,本文提出一种在 Ad Hoc 网络上,基于多信道统计优先级概念的 MAC 协议(Priority Statistic based on Multichannel Access, PSMC),以实现以下几点性能:①同时容纳大量用户;②较低的延时与丢包率;③网络中的节点能够同时的进行数据的收发;④载荷到达门限值后吞吐量完美下降。

由于该数据链的 MAC 层协议 PSMC 是在 Ad Hoc 网络的基础上设计开发的。因此该数据链同样具有 Ad Hoc 网络自组织、无中心、抗毁伤、自愈合等特性,并且参战单元能够迅速地进出网络。

1 PSMC 算法

PSMC 协议在 Ad Hoc 网络的基础上,采用了多信道,并且加入了优先级的服务质量控制机制。每个优先级队列都有一个根据具体网络情况的预设阈值。PSMC 同时还生成一个“信道占用统计”,取决于在预定周期内该信道上的活动水平,即与这个信道上接收到的脉冲数相关,体现了某时段内网络的忙闲程度。“信道占用统计”在预定周期结束时,进行一个随机回退,由基于时间的滑动窗口自动生成一个新的预定周期,生成新的“信道占用统计”。在请求发送某一优先级数据包时,PSMC 会将“信道占用统计”与该优先级阈值比较,从而确定数据包是否发送或延时等待。同时 PSMC 在 5 个动态分配信道上同时进行“4 收 1 发”,即每个节点可同时在 4 个信道上接收,同时占用 1 个信道发送。

PSMC 目的是将网络维持在一个较好的吞吐量状态下,满足每个用户在第一时间内接收数据包的成功率为 95%。若用户在第一次接收数据包成功率并不高,网络就会出现大量重传,并趋于超载甚

至拥塞。比如载波侦听多路访问(CSMA)协议,通过载波侦听信道是否空闲、冲突检测、随机回退等方式来控制冲突的发生,从而提高发送成功率,但是在网络载荷较大时,数据包发送将频繁随机回退,从而产生非常大的延时,导致严重拥塞^[4]。PSMC 能够在网络载荷较大时,通过截流来保证高优先级数据能够一次成功发送,并使得整个网络不至于在超载的情况下产生拥塞。

1.1 PSMC 流程图

PSMC 算法流程见图 1。

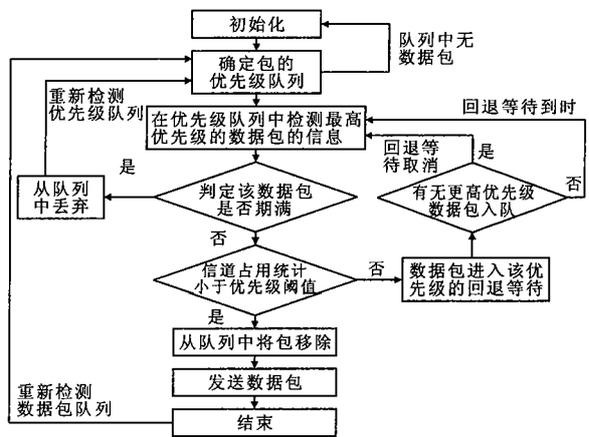


图 1 PSMC 算法流程图

Fig. 1 Flow chart of PSMC algorithm

首先,对整个过程初始化,完成网络同步过程。由于节点有着不同优先级的数据包,所以将这些数据包按照一定的规律排队。每个 PSMC 优先级队列负责维护一个优先级数据业务。如果队列中没有数据包,将重新初始化。

其次,检测队列中最高优先级数据包的信息,并读取。判断是否期满,如果没有期满,就继续前往下一个过程。将“信道占用统计”与该数据包信息中的优先级阈值进行比较,若信道占用小于优先级阈值,则允许发送;若信道占用大于优先级阈值,该数据包将进行基于时间的相应优先级随机回退等待,在等待结束后再次进行以上过程。如果等待过程中有更高优先级数据包进入队列,终止等待,直接处理较高优先级数据包信息。

再次,将允许发送数据包从队列里移除。最后发送该数据包。

1.2 发送判据

图 2 是图 1 中“信道占用统计”与数据包优先级阈值作对比,确定是否发送数据包的控制算法原理图。图 2 中数据包根据不同的优先级进入到优先级队列 A 中,当“信道占用统计”C 与优先级阈值 B 相比较时,如果 $C < B$,数据包将被发送。如果 $C > B$,则数据包将要在该数据包对应的优先级回退窗口中

进入一个随机的回退等待,直到高优先级的数据包发送完成,该数据包才有机会再次检测“信道占用统计”C,看是否有资格发送。

高优先级阈值将在数值上高于低优先级的阈值,在一个预定期间内,“信道占用统计”随数据包发送不断累积,首先到达了低优先级的阈值,此时较低优先级的数据包将不再被允许发送,较高优先级的数据包在没有到达该优先级的阈值前可以继续发送数据包。在预定的期间到达时,将由动态的滑动窗口产生出新的预定期间和新的“信道占用统计”,此时较低优先级的数据包将再次有资格发送。依据此控制算法成功完成了对数据流的控制,尤其是在网络通信流量激增,信道负荷加大时,有效的控制了低优先级数据包的发送,形成了一种截流状态,确保了较高优先级的数据包能够成功的发送,并且有效的缓解了网络高强的工作压力。既使在网络已经超载的情况下,整个网络系统仍然能够继续工作,不至于快速崩溃。

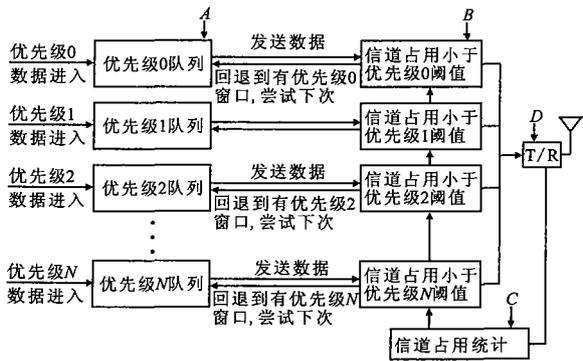


图2 数据包发送判据
Fig. 2 Principle of data packet sending

2 PSMC 信道资源分配

PSMC的资源分配过程类似于 Slotted ALOHA。ALOHA 协议是 1968 年诺曼艾布拉姆森等人在夏威夷大学开发,并于 1971 年成功研制出的一种使用无线广播技术的分组交换计算机网络,也是最早最基本的无线数据通信协议。ALOHA 协议采用的是单信道,可以分为纯的 ALOHA 协议 (Pure ALOHA) 和时槽 ALOHA 协议 (Slotted ALOHA)。

Slotted ALOHA 把时间轴分成等宽时槽。每次发送只能在一个时槽开始处进行,每次传输时间必须小于等于一个时槽宽度。这样就很大程度上减少了信道访问冲突,信道可信度也提高了。图 3 中, A、B、C、D 4 个节点所有的发射都被强制在时槽中,除了第 4、7、10、12 这几个时槽上的数据发射成功

外,在其余时槽上的数据均发生冲突。解决方法见图 4,当冲突发生时,节点们都会停止一段时间后,再次尝试发送。

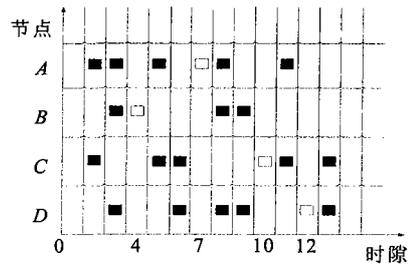


图3 Slotted ALOHA 时频图

Fig. 3 Slotted ALOHA spectrogram

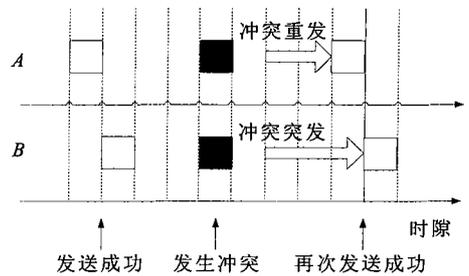


图4 Slotted ALOHA 冲突处理

Fig. 4 Collision management of Slotted ALOHA

假设节点对信道的使用情况符合泊松分布,可得以下结论^[8]:

纯 ALOHA 协议: $S = Ge - 2G$;

分段 ALOHA 协议: $S = Ge - G$ 。

其中, S 是吞吐量, G 是流量。

纯 ALOHA 中,当 $G = 0.5$ 的时候, S 达到最大值 18.4%;

分段 ALOHA 中,当 $G = 1$ 时, S 达到最大值 36.8%。

PSMC 在此基础上同样将时间轴分成了等长并且非常小的时槽,同时采用了 5 个动态分配信道,每个节点任一时刻可同时“1 发 4 收”。数据包在发送前被分成等大小的信元(Cell),节点在接收到信元后将其重新恢复成原数据包。为了正确接收在整个发射中的数据,对每个信元采用纠错码。PSMC 中各节点并不知道其它节点的具体发射情况,所以在发送信元过程中难免会发生冲突,但是由于选用了合适的编码方案,即使是有部分信元损坏,系统也能根据收到的信元重建数据包。

2.1 单节点发送数据包情况

图 5 是单节点的信元发射情况。发射时信元将被随机地分布在不同的时槽和信道上。对单节点,收发器能同时“4 收 1 发”,就强制了信元发送分布不能在同一时段的时槽上同时占用不同信道,也就是说一个信元只能占用 1 个信道发射。足够多空闲

时槽是为了在发送同时接收。

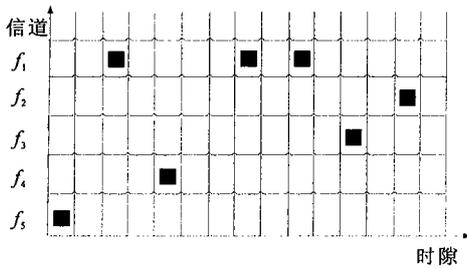


图 5 单节点发送数据包情况

Fig. 5 Data packet sending of single node

2.2 多节点发送数据包情况

图 6 中出现的信元来自不同发射节点，同一时槽的 5 个信道上可同时发送来自 5 个不同节点的信元。

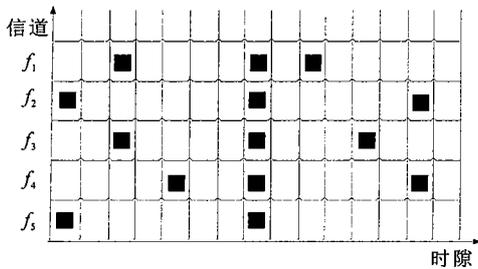


图 6 多节点发送数据包情况

Fig. 6 Data packet sending of multinode

2.3 单节点同时接收数据包的情况

图 7 为单节点在信道上接收数据包的示意图。一个单节点在同一段时槽的 5 个信道上，最多能同时接收来自 4 个不同节点发送的数据包。

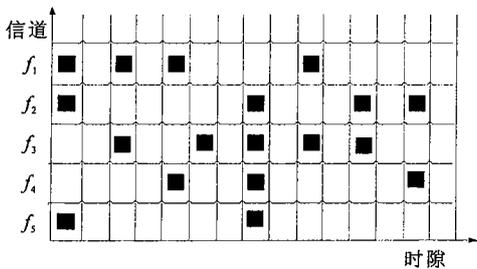


图 7 单节点同时接收数据包

Fig. 7 Data packet reception of single node

3 仿真结果

3.1 PSMC 网络中不同优先级业务的性能

依托 QualNet 仿真平台对 PSMC 协议的性能进行仿真测试，在多节点多优先级业务场景分布示意图见图 8，基本参数配置见表 1，图 8 中共配置了 5 对不同优先级类型的业务，分别为优先级为 4 的 1-10 业务对、优先级为 3 的 2-9 业务对、优先级为 2 的业务对 3-8、优先级为 1 的 4-6 业务对、优先级为 0

的 5-6 业务对。网络的业务量分别为 0.5、1、1.5、2、2.5Mbps 依次增加。该场景端到端时延、网络丢包率仿真结果如图 9、图 10。

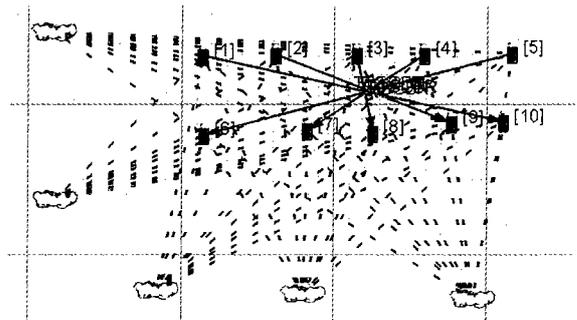


图 8 多节点多优先级业务场景

Fig. 8 Traffic scene of multi-node and multi-priority

表 1 PSMC 场景基本参数

Tab 1. Basic parameters of PSMA

场景范围	1 500 km×1 500 km
节点个数	10
信道类型	无线信道
信道个数	5 个
单信道传输率	2 Mbps
仿真时间	3 000 s
优先级数	5 个；TOS=0~4；0 最高

从图 9 中可以看出，PSMC 协议的多节点多优先级的时延总体分布在 0 到 1 s 之间。网络在负载较轻的时候，各个优先级的时延都接近于 0；随着网络业务量的不断加大，各优先级的时延都有所增大，优先级 0 几乎保持不变，优先级 4 上升的最为明显，最高时达到了 0.89 s。纵向来看，优先级较高的延时普遍低于优先级较低的延时，说明系统尤其是对高优先级业务传输的服务质量进行了较严格的保障，再依次满足了较低的优先级需求。

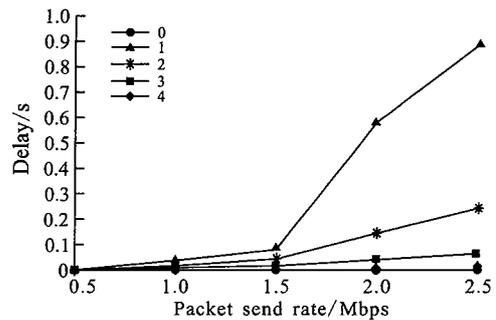


图 9 多节点多优先级业务的时延性能

Fig. 9 Delay of multi-node and multi-priority

图 10 为多节点多优先级在不同网络业务量情况下的丢包率示意图。从图中可以看出，在业务量相等的时候，较高优先级业务的丢包率比较低优先级业务的明显要低；在网络的业务量整体较低的时

候,所有优先级的业务丢包率都维持在 0.005 以下;随着网络流量的增长,低优先级的丢包率越见明显,上升趋势增大,优先级 TOS=0 的丢包率始终保持在最低水平,系统的业务量大小对高优先级业务的丢包率影响很小,这是因为 PSMC 系统总是先处理优先级最高的业务。通过此图可以看出 PSMC 系统能够充分保障不同类型业务的 QoS,在有必要的时候,系统会通过牺牲部分低优先级业务的方式来保障较高优先级的业务。

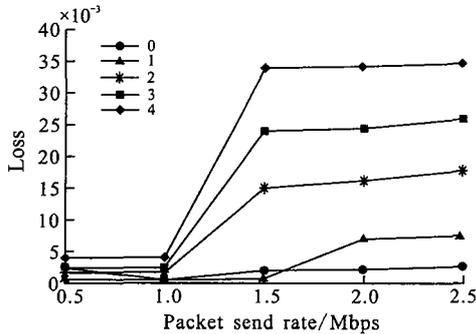


图 10 多节点多优先级业务的丢包率性能

Fig. 10 Packet Loss of multi-node and multi-priority

3.2 PSMC 协议与其他协议吞吐量性能对比

图 11 和图 12 分别是 ALOHA、Slotted ALOHA、CSMA 和 PSMC 的吞吐量 vs. 载荷曲线。

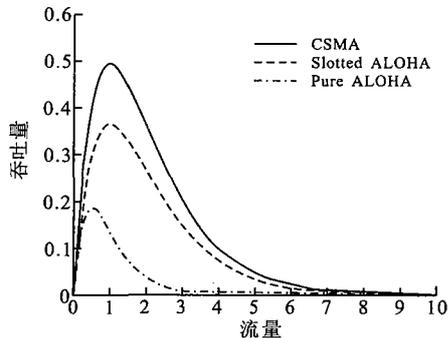


图 11 吞吐量 vs. 载荷曲线

Fig. 11 Throughput vs. traffic

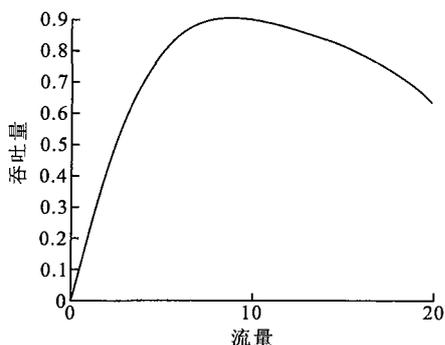


图 12 PSMC 吞吐量 vs. 载荷曲线

Fig. 12 Throughput vs. traffic of PSMC

从图 11 和图 12 中,可以明显看出 PSMC 的性能提升。整个网络中 PSMC 可以承载相当大的负

荷,并且保证较高的吞吐量,当 $G = 10$ 时, S 达到 90%。当网络超载时,ALOHA、Slotted ALOHA 及 CSMA 协议都迅速趋于拥塞,但 PSMC 缓慢下滑,仍继续良好工作。

4 结语

PSMC 能够满足不同业务的 QoS,在载荷增大时有效控制了吞吐量急剧下降;且在通信系统过载时,能够使系统继续保持工作,不至于迅速拥塞。具有高吞吐量和低延时的优良特性。符合目前新型数据链开发的需求,PSMC 的其他参数的仿真将在后续的工作中进行。

参考文献(References):

- [1] Yiming Sun, Liping Yang. Information war of tactical data link[M]. Beijing: University of posts and telecommunications press, 2005.
- [2] Dou Weijiang. Dynamic TDMA media access control protocol for Ad Hoc networks[J]. Computer engineering and design, 2007, 19(28): 4667-4679.
- [3] Zhangfei Gao, Zhengyi Jiang, Shanan Zhu. Research on the MAC layer protocol of ad hoc network based on multi-channel and hopping schemes[J]. Automation instrumentation, 2005, 12(26): 5-8.
- [4] Nasipuri A, Zhuang J, Das S R. A multichannel CSMA MAC protocol for multihop wireless networks [C]//Wireless communications and network conference. New Orleans, LA: IEEE press, 1999: 1402 - 1406.
- [5] ZHANG H, CHLAMTACI, Performance analysis of timespread Multiple access protocol[C]//Performance computing and communications, 1998, IEEE international. [S. l.]: IEEE press, 1998: 402-408.
- [6] Ke Wang, YanWei Xu. Communication technology and application of the FM[J]. Science and technology consulting herald, 2006, 18: 50-52.
- [7] Haas Z J, Deng J, Liang B. Wireless ad hoc networks, encyclopedia of telecommunications [M]. New York: John wiley, 2002.
- [8] Goldsmith A J, Wicker S B. Design challenges for energy con strained ad hoc wireless networks [J]. IEEE wireless commun, 2002, 9(4): 8-27.

(编辑:徐楠楠)