

一种新型战术数据链 MAC 协议

彭沙沙¹ 张红梅¹ 卞东亮¹ 赵玉亭²

(空军工程大学理学院 西安 710051)¹

(国防科技工业(西北)特种制造技术研究应用中心 西安 710072)²

摘要 针对 Link-16 数据链无法满足未来战争中为实现移动目标精确打击而提出的时敏信息可靠传输要求的问题,提出一种基于多信道优先级统计(MCPS)的 MAC 协议。MCPS 协议将不同优先级业务发送的门限阈值与反应信道忙闲情况的信道占用统计值作为判定数据包是否能够发送的条件,从而极大降低信道冲突,同时保证数据发送的实时性。仿真结果表明,随网络节点增多,Link-16 数据链延时急剧增大,而 MCPS 协议的端到端延时恒定在 3~4 毫秒内;随着网络业务量增大,Link-16 系统吞吐量无法承载持续增大的业务量而导致严重的丢包率,MCPS 协议则能够满足高业务量网络的要求,并保障数据包一次发送的成功率不低于 95%。

关键词 战术数据链,自组网,介质访问控制,仿真

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

New MAC Layer Protocol of Tactical Data Link

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

(Science College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)¹

(Defense Technology Industries (Northwestern) Special Manufacturing Technology Research & Application Center, Xi'an 710072, China)²

Abstract Aiming at the problem that Link-16 data link can not satisfy the requirements of sensitive information with reliable transmission when precision strike of moving target is needed, this paper proposed a MAC protocol based on multi-channel priority Statistics (MCPS). MCPS protocol uses different priorities thresholds and channel occupancy statistic value to determine whether data packets should be sent. Thereby, the method greatly reduces channel conflict, guarantees a data transmission in real-time at the same. The simulation results show that the Link-16 data delay increases sharply with an increasing nodes, but MCPS protocol End to End Delay constants in 3~4ms. As network traffic increases, Link-16 system can't carry the heavy traffic and lead to severe packet loss. But MCPS can satisfy protocol requirements of high-traffic network and keep the success rate of send is not less than 95% at first time.

Keywords Tactical data link, Ad hoc, MAC, Simulation

1 引言

战术数据链是一体化联合作战的“神经中枢”^[1]。当前美军主装备数据链 Link-16 虽然有着较强的战场态势感知能力和战场全局控制能力^[2],但是对于高机动的时敏目标进行精确定位、实时打击的能力却较差^[3]。

近年来,研究人员对 Link-16 数据链协议作了许多改进。俞胜男^[4]提出一种以 Ad Hoc 网络为基础、采用多信道方式的 TDMA 时隙分配协议。节点间通过交换控制信息,可得到两跳范围内节点的时隙分配信息,按照时隙分配算法选择时隙。王宝康等^[5]提出一种改进的 TDMA 时隙分配方法,即根据网络拓扑结构及电抗需求,动态地改变帧长和发送机制,允许发送者预约两个节点中未分配的时隙。但以上两种协议都没有脱离 TDMA 协议预先分配时隙的限制,即用户发送定时导致了较大的发送等待。Nassima Hadid 等^[6]通过一种分时 CSMA/CA 算法有效地缓解了流量激增时网络的拥塞,但随

着网络业务的增大,网络丢包率性能将明显下降,直至系统瘫痪,无法满足战术数据链数据可靠传输的战术需求。

为满足时敏信息可靠传输要求,本文提出了一种基于多信道优先级统计方法的 MAC 协议(Multichannel Priority Statistical, MCPS),MCPS 着眼于解决以下几点问题:

- 同时容纳大量用户;
- 传输速率高,较低的延时与丢包率;
- 能够同时进行收发;
- 载荷到达门限值后吞吐量不会急剧恶化。

同时,分布式 MCPS 协议数据链采用 Ad Hoc 网络^[7],具有无中心、自组织、抗毁伤、自愈合等特性,能够实现网络单元易于快速加入或退出网络的功能,适应未来战争的突发性要求。

2 MCPS 算法设计

MCPS 协议的核心思想是加入业务优先级的服务质量控

到稿时间:2012-09-09 返修日期:2012-12-13 本文受军内武器系统科研项目(KJ2010182),陕西省电子信息系统集成重点实验室基金项目(201107Y16)资助。

彭沙沙(1987-),女,硕士生,主要研究方向为网络信息系统,E-mail:shashapeng@qq.com。

制机制,不同优先级业务对应不同预先设定的阈值。MCPS 协议通过物理层上的控制算法分别得到每个信道的“信道占用统计”,其大小取决于在预定周期内该信道上的活动水平,反映了在一段预定时间内,信道的忙闲情况。“信道占用统计”会随着信道“时间滑窗”的时尽而更新。在数据包请求发送时,MCPS 协议会将“信道占用统计”与该数据包优先级的阈值进行比较,从而判定数据包是否发送或延时等待。

2.1 MCPS 算法

MCPS 协议的算法流程如图 1 所示,初始化阶段完成网络的同步操作。数据包分别进入相应的优先级队列,检测优先级队列里优先级最高的数据包信息,判断所取出的数据包是否期满。将“信道占用统计”与该数据包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。将允许发送数据包从队列里移除,发送该数据包。

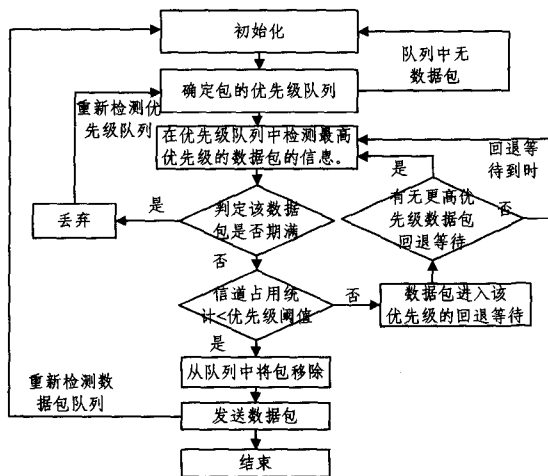


图 1 MCPS 算法流程图

2.2 发送判据

图 2 是“信道占用统计”与数据包优先级阈值对比确定数据包是否发送的控制算法原理图,系统会依次对每个信道进行如图所示的检测。数据包根据不同的优先级进入到优先级队列 A 中,信道占用统计 C 与优先级阈值 B 进行比较,当 $C < B$ 时,数据包将被发送;当 $C > B$ 时,数据包将要在在此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。

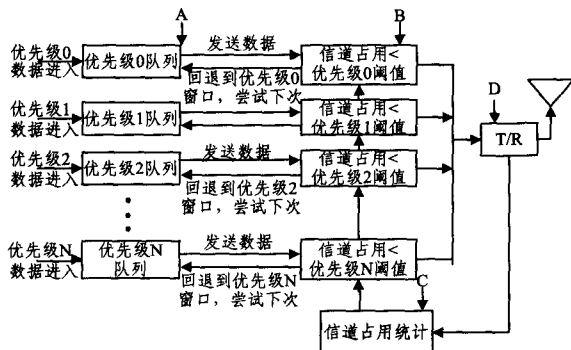


图 2 数据包发送判据

2.3 MCPS 信道资源分配

MCPS 协议把信道上的时间轴分成等宽度的时槽,并且

将要发送的数据包分成了许多个等大小的子块信息,称作“信元”。为了使多个信道能够动态地分配信息资源,信元将随机地分散在满足发送条件的任意信道和时槽上,分别发送出去。接收方会将收到的子数据包重组,还原为源数据包。依据此控制算法成功地完成了数据的实时发送;并且在网流量激增、信道负荷加大时,有效地控制了低优先级数据包的发送,形成了一种截流状态,确保了较高优先级数据包的成功发送,并且大大缓解了网络高强的工作压力。

3 MCPS 协议实现

基于 QualNet^[8] 网络仿真软件,通过添加 MCPS 所需的模块来实现其协议栈需求,如图 3 所示。应用层添加了具有优先级业务的 TOSCBR 协议,增加了数据包优先级的域值和数据包保存时限两个参数;网络层在调度表中为不同优先级的数据包增加了独立的分组队列;将原有的 MAC 层设计成多接口多信道 MAC 协议,新增了时槽和信道滑窗更新等参数,并实现了优先级的分组取包算法、流量管控算法以及基于优先级业务的随机回退等待等算法;物理层为多媒介物理层,添加了“信道占用统计”信息,用于 MAC 层判定是否发送数据包的算法实现。

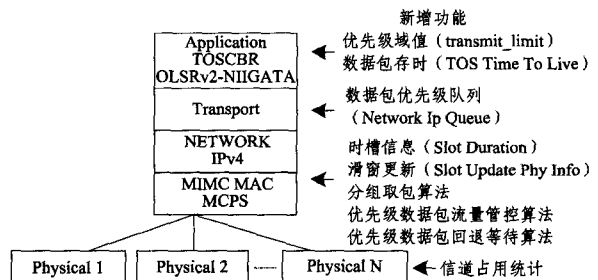


图 3 MCPS 多信道协议栈结构

3.1 应用层实现

本文设计了一种新的应用层业务协议——基于优先级的 CBR 协议(TOSCBR)。TOSCBR 是在 CBR 协议基础上设计的,为不同的优先级业务增加了优先级域值和数据包保存时限这两个参数,它们分别用于限制不同优先级业务的发送和丢包处理,为高优先级业务提供了最好的服务保障。

3.2 网络层实现

MCPS 的网络协议是基于 IPv4 协议的,它采用应用层的路由协议 OLSRv2-NIIGATA,应用内核路由转发表代表了不同分组选择不同的传输路径。为了减少网络层的处理时延,本协议在调度表中为每个优先级的数据包增加了一个独立的分组队列,用于缓存不同优先级业务的数据包或信元。

网络层协议模型如图 4 所示,首先通过函数 NetworkReceivePacketFromTransportLayer() 接收来自传输层和来自 MAC 层的数据包或信元,函数 AddIpHeader() 为高层分组加入 IP 头信息,通过查找路由协议 OLSRv2-NIIGATA 构建的路由转发表,为分组选择正确的传输路径。为满足 MCPS 协议的分组大小要求,函数 IpFragmentPacket() 将分组大小分段成等大小的信元分组。根据分组的优先级信息,函数 GenericPacketClassifier() 将信元分为不同的类别,并增加相应的控制域信息。最后通过函数(* scheduler). insert() 把相应优先级的信元分组加入到相应的调度表的分组队列中。

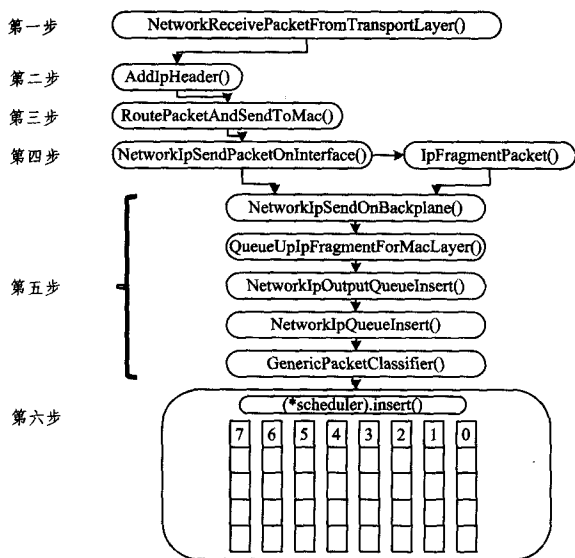


图4 网络层分组处理流程

3.3 MIMC MAC 设计实现

在 MAC 层提出一种新的协议 MIMC-MAC。MIMC-MAC 协议依据 MCPS 不同优先级的数据包处理算法, 结合实际网络的环境情况和不同优先级业务的控制域信息, 按照 MCPS 协议控制算法选定合适的信道, 将从当前不为空的最高优先级队列中取出的数据包, 加上 MAC 头信息, 发送到物理媒介上。同时 MIMC-MAC 协议增加了时槽信息和基于时间的多物理媒介滑动窗口参数。

MIMC-MAC 协议主要包括 3 大部分, 如图 5 所示, 分别是 MIMC-MAC 初始化。MIMC-MAC 事件处理和 MIMC-MAC 信息统计。

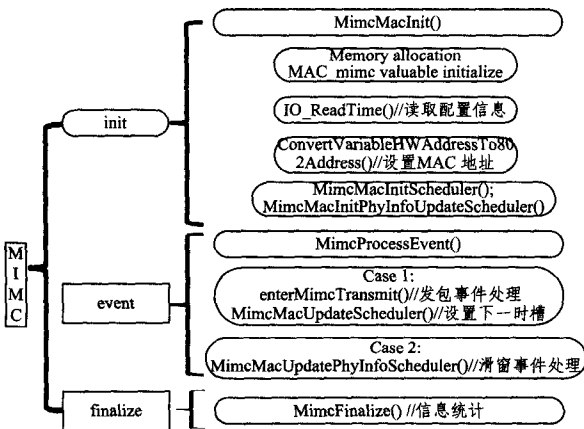


图5 MIMC 的处理过程

a) MIMC-MAC 初始化 MimcMacInit(): 从配置文档中读取 MIMC-MAC 的配置信息, 初始化 MAC 层数据结构, 分别初始化 MIMC-MAC 协议的时槽架构 ConvertVariableHwAddressTo802Address(), 同时初始化 MIMC-MAC 协议中的时槽事件函数 MimcMacInitScheduler() 和物理层状态信息更新滑动事件函数 MimcMacInitPhyInfoUpdateScheduler()。

b) MIMC-MAC 事件处理 MimcProcessEvent(): 用于处理 MIMC-MAC 协议的定时器信息, 处理该协议的其它事件, 以及各种数据帧与控制帧的处理, 实现了基于优先级的分组取包算法、基于优先级业务的流量管控算法和基于优先级业务的随机回退等待算法。

c) MIMC-MAC 信息统计: 用于处理 MIMC-MAC 协议的

各种统计信息。

MIMC-MAC 协议在 MIMC-MAC 事件处理模块中, 实现了基于优先级的分组取包算法、基于优先级业务的流量管控算法和基于优先级业务的随机回退等待等算法。

3.4 PHY INFO 设计

物理层通过统计信道上收到的同步脉冲数即“信道占用统计”, 来体现信道忙闲状态信息, 为 MCPS 协议提供关键的控制算法参数。

4 仿真验证

为了更好地验证 MCPS 协议的性能, 本文将 MCPS 协议与美军现装备的 Link-16 采用的 TDMA 协议进行对比, 依托 QualNet^[8] 仿真平台, 分别采用 MCPS 协议和 TDMA 协议构建战术数据链的仿真想定, 其物理层同时添加了编码、调制等处理。战术数据链的网络基本参数配置如表 1 所列。

表1 MCPS 协议与 TDMA 协议网络配置图

	MCPS	TDMA
仿真规模	1500×1500km	1500×1500km
节点个数	10~50	10~50
信道类型	无线信道	无线信道
信道个数	5	1
仿真时间	3000s	3000s
传输层协议	UDP	UDP
应用层协议	TOSCBR	CBR
路由协议	OSLR	OSLR
MAC 协议	MIMC	TMDA

4.1 网络规模对 MCPS 协议性能的影响

为验证网络规模对 MCPS 协议性能的影响, 根据表 1 构建 5 对 MCPS vs. TMDA 的仿真场景, 网络规模分别为 10、20、30、40、50 节点, 业务量处于中等繁忙状态, 均匀分布于网络节点对中。仿真结果如图 6 所示。

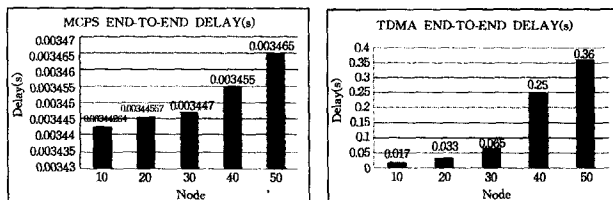


图6 MCPS(上)vs. TDMA 协议不同节点端到端延时比较

从图 6 中 MCPS 协议和 TDMA 协议的对比结果来看, 随着网络规模的不断增大, MCPS 协议的网络业务端到端延时变化很微小, 而 TDMA 协议的网络业务端到端延时呈线性快速增加。当网络规模为 50 个节点时, MCPS 协议的端到端延时还不足 TDMA 协议的 1%。

4.2 业务量对 MCPS 协议的影响

保持网络规模不变, 节点数为 10 个, 业务量分别为 0.2、0.4、0.6、0.8、1Mbps, 依次增加。MCPS 与 TDMA 端到端延时、丢包率, 以及网络吞吐量的仿真结果如图 7 所示。

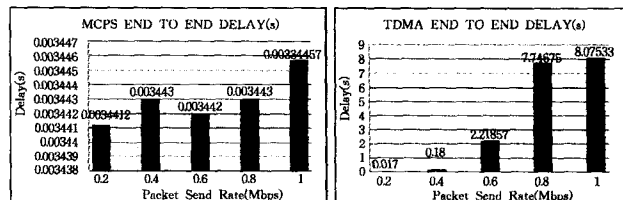


图7 MCPS(上)vs. TDMA 不同业务量情况下端到端延时比较

从图 7 中可以看出, MCPS 协议的业务端到端延时比采

用 TDMA 小了 1 到 3 个数量级。随着网络业务量不断增大, MCPS 协议延时几乎没有变化, 维持在 3.44 ms。但 TDMA 协议在业务量到达一定程度时, 延时突然激增, 网络性能明显下降。

图 8 中随着网络的业务量增加, MCPS 协议网络的丢包率略有增加, 满足 MCPS 协议网络中丢包率较小的设计要求。对于 TDMA 协议, 当网络较空闲时, 丢包率为 0; 当网络业务量达到一定程度, TDMA 网络的丢包率急剧增加, 甚至达到了 72.56%, 网络已无法继续工作。

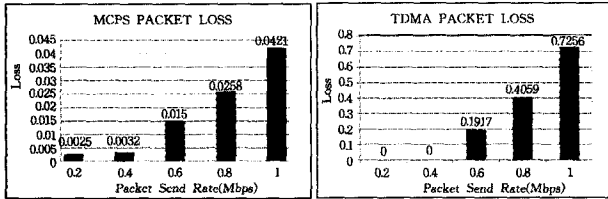


图 8 MCPS(上)vs. TDMA 协议丢包率比较

从图 9 可看出, TDMA 网络能够承受的网络业务量远远小于 MCPS 网络的承载业务量。这也是导致 TDMA 协议网络在网络业务量较大时, 端到端延时和丢包率急剧上升的原因。

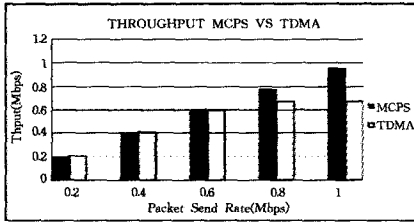


图 9 MCPS(左)vs. TDMA 协议吞吐量比较

结束语 本文通过 MCPS 协议的理论设计、协议实现以及协议仿真验证, 验证了 MCPS 协议的性能。无论是在不同网络规模下, 还是在同等网络规模不同业务量配置的场景下, 基于 MCPS 协议的数据链网络在业务端到端时延、网络的丢包率以及网络的承载业务量等方面远远优于基于 TDMA 的数据链网络, 能够满足新型战术数据链设计要求。

参考文献

- [1] 童志鹏, 刘兴. 综合电子信息系统(第二版)[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008
- [2] 孙义明, 杨丽萍. 信息化战争中的战术数据链[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005
- [3] 陈志辉, 李大双. 对美军下一代数据链 TTNT 技术的分析与探讨[J]. 通信技术, 2011, 5: 76-79
- [4] 俞胜男. 无线动态 TDMA 网络的时隙分配技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009
- [5] 王宝康, 陈强. 一种改进的 Ad Hoc 网络中动态 TDMA 时隙分配方法[J]. 电子世界, 2011(14)
- [6] Hadid N, Guitton A. Michel Mission, Adaptive Slotted CSMA/CA Algorithm for The Traffic Accumulated During The Inactive Period[J]. PE-WASUM 09 Proceedings of the 6th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks. 2009; 143-146
- [7] Wang Xin. Mobile Ad-Hoc Network; Applications [M]. Tech, 2011-01
- [8] QualNet 5. 0 Programmer's Guide[M]. Scalable Network Technologies, Inc

(上接第 8 页)

- [86] Torralba A, Murphy K P, Freeman W T. Contextual models for object detection using boosted random fields[C]// Advances in Neural Information Processing Systems, NIPS. 2005: 1401-1408
- [87] Biederman I, Mezzanotte R J, Rabinowitz J C. Scene perception: Detecting and judging objects undergoing relational violations [J]. Cognitive Psychology, 1982, 14(2): 143-177
- [88] Cox D, Meyers E, Sinha P. Contextually evoked objectspecific responses in human visual cortex[J]. Science, 2004, 304(5667): 115-117
- [89] Boshyan J, Fenske M, Gronau N, et al. The contribution of context to visual object recognition[J]. Journal of Vision, 2005, 5(8)
- [90] Murphy K, Torralba A, Freeman W T. Using the Forest to See the Trees; A Graphical Model For Recognizing Scenes and Objects[M] // Sebastian Thrun, Lawrence Saul, and Bernhard Schölkopf, eds. Advances in Neural Information Processing Systems. Cambridge, MA; MIT Press, 2004
- [91] Carbonetto P, de Freitas N, Barnard K. A statistical model for general contextual object recognition[C]// Proceedings of the European Conference on Computer Vision. 2004
- [92] Singhal A, Luo J, Zhu W Y. Probabilistic spatial context models for scene content understanding[C]// IEEE Conference on Com-

- puter Vision and Pattern Recognition. vol. 1, 2003: 235-241
- [93] Torralba A. Contextual influences on saliency[Z]. Neurobiology of attention. 2005: 586-592
- [94] Wolf L, Bileschi S. A critical view of context[J]. International Journal of Computer Vision, 2006, 69(2): 251-261
- [95] Kumar S, Hebert M. Discriminative Random Fields: A Discriminative Framework for Contextual Interaction in Classification [C]// Proceedings of the 9th International Conference on Computer Vision. Washington, DC, USA, 2003: 1150
- [96] From appearance to context-based recognition; Dense labeling in small images[DB]. June 2008
- [97] Tu Z W. Auto-context and its application to high-level vision tasks[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2008: 1-8
- [98] He X M, Zemel R S. Latent topic random fields; Learning using a taxonomy of labels[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2008: 1-8
- [99] Torralba A. Contextual priming for object detection[J]. International Journal of Computer Vision, 2003, 53(2): 169-191
- [100] Mei T, Wang Y, Hua X S, et al. Coherent image annotation by learning semantic distance[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2008: 1-8