

战术数据链媒体接入控制协议评价方法研究

王 夷¹ 王文政² 周经伦³

(海军装备研究院 北京 100073)¹ (中国人民解放军后勤工程学院 重庆 401311)²

(国防科学技术大学信息系统与管理学院 长沙 410073)³

摘 要 媒体接入控制协议对战术数据链系统整体性能具有决定性的影响,如何进行媒体接入控制协议评价是战术数据链全寿命周期中需要解决的重要问题。基于时分多址在战术数据链中的广泛使用,重点设计了战术数据链时隙分配协议评价指标体系,并在此基础上,提出了战术数据链时隙分配协议仿真评价方法,给出了战术数据链时隙分配协议仿真评价框架,并对其中的仿真评价系统模型和仿真评价流程进行了阐述。最后,通过仿真示例,说明了方法的有效性。

关键词 战术数据链,媒体接入控制协议,时隙分配协议,仿真评价,16号链路

Study on Evaluation Method of MAC Protocol for Tactical Data Links

WANG Yi¹ WANG Wen-zheng² ZHOU Jing-lun³

(Naval Academy of Armament, Beijing 100073, China)¹

(Department of Civil Engineering of Logistical University of PLA, Chongqing 401311, China)²

(School of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)³

Abstract Medium Access Control(MAC) protocol has a decisive influence on the overall performance of tactical data links, and how to evaluate the performance of MAC protocol is an important part of the life cycle of tactical data links. TDMA is the most widely used access method in tactical data links, so, the evaluation indexes of slot assignment protocol were proposed, and a simulation evaluation method of slot assignment protocol for tactical data links was proposed. Then, the simulation evaluation framework was designed, the simulation models and the process of the framework were discussed. Finally, the validity of the method was verified by a simulation evaluation example.

Keywords Tactical data link, Medium access control(MAC), Slot assignment protocol, Simulation evaluation, Link 16

1 引言

作为现代军事电子信息系统系统中不可或缺的组成部分,战术数据链^[1]的研制和发展衡量着信息化装备的水平和能力,在现代战争中发挥着极其重要的作用。战术数据链中媒体访问控制(Medium Access Control, MAC)协议的主要功能是控制系统节点对于无线信道的访问,它是报文在信道上发送和接收的直接控制者,其性能的优劣对战术数据链的整体性能有着决定性的影响。信息传输的实时性是战术数据链的突出特征之一,为满足传输实时业务的应用需求,战术数据链一般采用时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)接入方式。TDMA技术特有的突发通信模式具有良好的抗截获和抗干扰能力,使用时间维信道,组网灵活性强,可满足野战环境的需要。在采用TDMA接入的战术数据链中,时间被分为周期性的帧(Frame),每一帧再分成若干时隙(Time Slot),无论帧或时隙都是互不重叠的,时隙是进行报文传输的基本单元。如何将时隙资源在不同的战术节点之间进行分配,从而满足战术数据链报文传输需求,是其媒体接入控制协议需

要解决的主要问题,为此,本文重点研究战术数据链时隙分配协议的评价问题。

为了评价战术数据链时隙分配协议的性能,需要对时隙分配协议评价方法进行研究,以进行特定协议的实验验证或特定网络环境下不同协议的评价等。现有的研究^[2-6]大部分都是针对特定战术数据链时隙分配协议的仿真评价,为此,本文在前人研究的基础上,设计了战术数据链时隙分配协议评价指标,提出了战术数据链时隙分配协议仿真评价方法,并通过示例验证了评价方法的有效性。

2 战术数据链时隙分配协议评价指标

基于战术数据链的应用背景,选取的战术数据链时隙分配协议性能评价指标如图1所示。这些评价指标主要可以分为两类:面向效率和面向服务的指标。面向效率的指标反映的是信道资源的利用效率,这里主要是用信道利用率加以衡量。面向服务的指标主要用于评价系统的传输性能,包括端-端时延、接入时延、网络循环时间、成功接入率、时隙冲突概率、调度抖动、吞吐量以及系统容量。

收稿日期:2010-04-16 返修日期:2010-07-26 本文受基金项目国防十一五预研项目(513040205)资助。

王 夷(1963—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为信息战, E-mail: swy120@sh163.net; 王文政(1980—),男,博士,讲师,主要研究方向为数据链仿真与评估; 周经伦(1955—),男,博士,教授,主要研究方向为系统工程理论与应用。

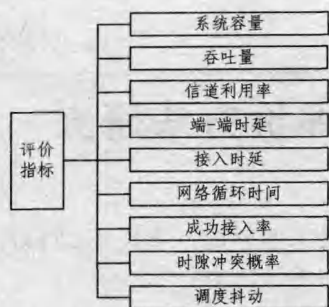


图1 战术数据链时隙分配协议评价指标

3 战术数据链时隙分配协议仿真评价方法

基于时隙分配协议的复杂性,本文采用仿真方法对其进行评价。下面重点论述提出的战术数据链时隙分配协议仿真评价框架,并对其中的仿真评价系统模型以及仿真评价框架的运行流程进行阐述。

3.1 仿真评价框架

通过对战术数据链时隙分配协议仿真评价过程的分析可以建立其总体框架,如图2所示,该框架反映了战术数据链时隙分配协议仿真评价从定性向定量分析、再从定量向定性综合的循环过程。

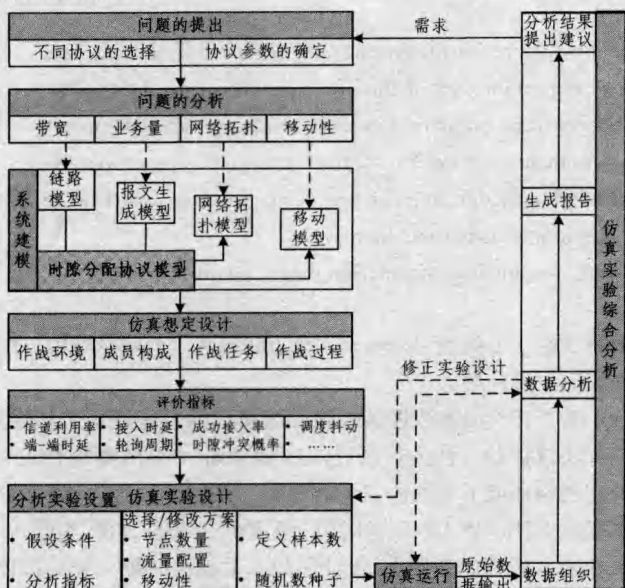


图2 战术数据链时隙分配协议仿真评价框架

战术数据链时隙分配协议仿真评价的准备阶段主要包括:

(1)问题的提出,即仿真目的明确,例如是选择协议还是确定特定协议的参数等;

(2)问题的分析,重点分析研究问题的主要影响因素,例如分析不同报文打包格式、业务量、网络拓扑以及移动性等因素对时隙分配协议的影响;

(3)系统建模,即仿真模型的建立,主要是根据模型需求框架建立相应的模型,以具体体现主要因素的影响作用。例如带宽等可以体现在链路模型中,业务量可以体现在报文生成模型中,网络拓扑和移动性可以分别体现在网络拓扑模型和移动模型中。当然,这里只是给出了简单的几个影响因素,根据问题的不同可能还会考虑到更多的因素,例如报文打包

格式、时隙的大小等,最终所有这些从节点内部和外部共同影响着时隙分配协议的性能;

(4)仿真想定设计,即通过想定设计描述仿真问题的背景和内容,例如作战环境、成员构成、作战任务、作战过程等;

(5)仿真实验设计,即进行仿真方案的选择和仿真系统的设定,为仿真运行提供条件。

通过分析实验设置,可以明确假设条件,确定分析指标;进而选择或修改具体的仿真方案;最后对仿真进行设置,例如仿真时间、样本数以及种子的设定等。

战术数据链时隙分配协议仿真评价的实施阶段主要是按照仿真设计进行实验,即通过仿真系统运行产生实验数据。当然,该阶段还包括仿真数据的收集。

战术数据链时隙分配协议仿真评价的分析阶段主要完成对仿真结果进行分析的工作。该阶段主要包括3项活动:数据组织,即对仿真数据进行分类、抽取、选择等,获得对仿真结果最有意义的数据集;数据分析,即对得到的数据进行不同角度的分析,找到所研究问题的规律,获得相应的答案;形成结论,即对分析结果进行总结,形成分析研究报告。

3.2 仿真评价系统模型

战术数据链时隙分配协议仿真评价的基础就是建立仿真系统模型。为此,根据仿真要素的分析,给出相应的模型需求,进而得到建模框架,如图3所示。

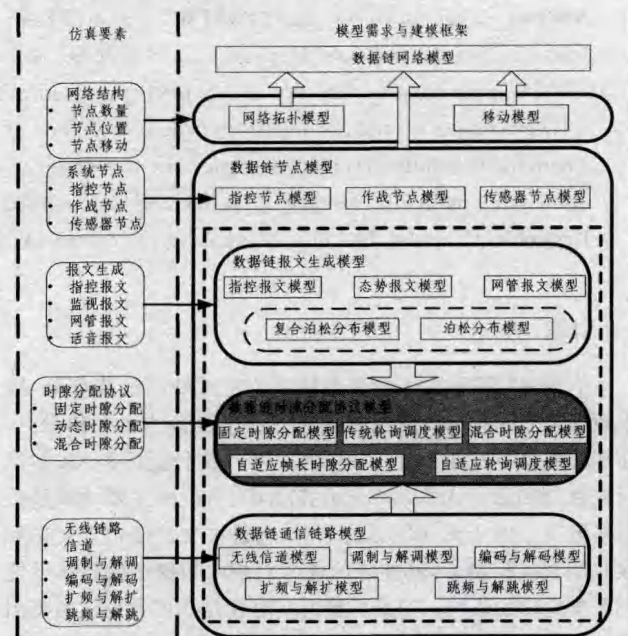


图3 战术数据链时隙分配协议仿真评价系统模型

在对战术数据链进行系统建模时,根据分层协议体系结构可知,首先必须对物理层进行建模。而物理层的仿真要素主要包括信道环境、调制与解调方式、编码与解码方式、扩频与解扩方式以及跳频与解跳方式等,因此需要建立相应的无线信道模型、调制与解调模型、编码与解码模型、扩频与解扩模型以及跳频与解跳模型,本文把此类模型称为链路模型。

通信协议是战术数据链的主要组成部分,对其建模的成功与否将直接影响到系统仿真的成败。为了考察不同协议下战术数据链系统的性能表现,本文分别建立了固定时隙分配模型、传统轮询调度模型、自适应轮询调度模型、自适应帧长时隙分配模型以及面向报文流的混合时隙分配模型,本文把

此类模型称为协议模型。

报文生成过程是战术数据链系统仿真中需要建模的关键因素之一,其模型的优劣将对仿真结果产生一定的影响^[7]。因此,需要根据不同类型报文的产生规律,建立相应的报文生成模型。一般情况下对于执行特定作战任务的节点,可假设其报文生成过程服从泊松分布^[8]。

在战术数据链中,不同的节点具有不同的功能,其产生的业务量也不同,因此,需要对不同的节点类型进行建模。根据实际应用情况,可以简单地把战术数据链中的节点分为指控节点、作战节点和传感器节点3种类型。因此,可以建立相应的指控节点模型、作战节点模型和传感器节点模型,本文把此类模型称为节点模型。

网络模型主要是对系统的构成及移动方式进行描述。战术数据链由不同类型的若干节点组成,系统中节点的数量以及不同节点所处的地理位置以及移动方式也是仿真需要考虑的要素,因此,需要建立相应的网络拓扑模型和移动模型,本文称之为网络模型。

如图3所示,上述模型之间具有一定的依赖和包含关系,所有模型一起共同构成战术数据链系统仿真模型框架。链路模型和报文生成模型是为协议模型服务的;不同的链路模型、报文生成模型和协议模型一起又可以构成不同的节点模型;并且,网络模型又包括了节点模型、网络拓扑模型和移动模型。

同时,时隙分配协议模型作为研究的主要对象,在节点模型内部,链路模型和报文生成模型的输出是其输入,它们是时隙分配协议模型的内部主要影响因素;在节点模型外部,网络拓扑模型和移动模型通过对网络模型的影响进而影响到时隙分配协议模型,因此,它们是时隙分配协议模型的外部主要影响因素。当然,这里模型之间的影响最终将体现在模型参数的具体设置上。

3.3 仿真评价流程

从战术数据链时隙分配协议仿真评价框架可以看出,其一般工作流程为:

- (1)明确问题。基于具体的战术需求,明确需要通过仿真进行分析的问题。
- (2)系统建模。根据模型需求,建立相应模型。战术数据链系统建模本身是一个非常复杂的问题,为了减少建模的难度,一般可以根据问题的需要只对关心的问题建模,或者通过对局部的简化建模演化出复杂的整体效果。
- (3)想定设计。明确想定中的时间跨度、作战环境、成员构成、作战任务以及作战过程等,形成初始分析设置。同时想定设计过程中要求想定应该具有一定的代表性。
- (4)指标定义。定义分析指标的衡量体系,明确指标体系中各项指标的关系,对指标的选择应该与所要研究的具体问题密切相关。
- (5)方案设计。确定仿真分析策略,对实验因素进行选择 and 规划,优化仿真参量。例如通过不同的网络模型(主要体现在节点数量不同)、报文生成模型(主要体现在业务量的不同)或者移动模型(主要体现在移动性的不同)等,来设计各种仿真方案,对协议进行仿真评价。
- (6)仿真设置。根据不同的仿真方案,详细配置仿真关注的各项参数,例如报文到达率、移动速度等。同时,还要对仿

真运行进行设置,包括仿真时间、随机种子数、统计结果的收集等。

- (7)仿真运行。运行仿真系统,实施仿真实验。
- (8)结果抽取。按照指定的指标体系,利用统计等方法从原始数据中抽取出所需要的统计数据和聚合数据。这里重点在于选择合理、高效的数据分析方法。
- (9)综合分析。分析结果,得出结论,并提出建议。如果结果合理,则写出分析报告;如果需要进行进一步的研究,可以转到第一步修正问题并再次分析。当然,还可以转到第七步,再次运行仿真,研究感兴趣变量值的偏移情况。

4 仿真示例

根据以上给出的战术数据链时隙分配协议仿真评价方法,我们对 Link 16 数据链系统^[9,10] TDMA 协议进行仿真评价。在建立 Link 16 数据链系统相关模型的基础上,重点对其节点响应时间、系统容量以及报文丢失率性能进行了仿真评价。

评价过程中我们设计两个仿真方案。在方案1中,针对不同的报文到达率分别进行了10次仿真,这10次仿真中报文到达率依次为0.05个/s,0.1个/s,0.5个/s,1个/s,2个/s,3个/s,4个/s,5个/s,10个/s,20个/s,仿真中假设报文达到过程为泊松过程,仿真时间为300秒,系统中节点数量为20个。每个节点的时隙长度为0.01秒,时隙长度为100个时隙,每个节点均匀占用一个时隙中的5个时隙,节点数据发送速率为200kbps,发射功率为200W,带宽为255MHz。在方案2中,针对不同的时延阈值分别进行了10次仿真,这10次仿真中时延阈值依次为0.1s,0.5s,1.0s,1.5s,2.0s,2.5s,3.0s,3.5s,4.0s,5.0s,同时,所有节点的报文到达率均为1个/s,报文丢失率要求为99%,报文时延要求为1s。

为了对本文提出的仿真评价方法进行验证,我们利用文献[11]中的理论计算方法对相应指标进行了计算,理论计算结果和仿真结果的对照情况见表1、图4和图5。

表1 理论计算和仿真结果对比

报文到达率	理论值	仿真值	报文到达率	理论值	仿真值
0.05	0.2010	0.1987	3	0.3500	0.3474
0.1	0.2020	0.1996	3.5	0.4333	0.4306
0.5	0.2111	0.2087	4	0.6000	0.5973
1	0.2250	0.2225	4.5	1.1000	1.0972
2	0.2667	0.2642	4.99	50.1000	50.0100

系统容量(个)					
时延阈值	理论值	仿真值	时延阈值	理论值	仿真值
0.05	4	4	2.0	76	79
0.1	9	10	2.5	80	83
0.5	38	39	3.0	83	86
1.0	58	60	3.5	85	89
1.5	69	71	4.0	87	91

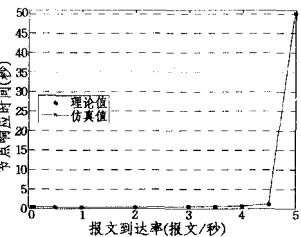


图4 节点响应时间 VS 报文到达率

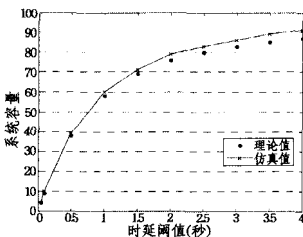


图5 系统容量 VS 时延阈值

从理论计算和仿真结果的对比情况来看,节点响应时间的理论值要稍大于仿真结果;而系统容量的理论值要稍小于仿真结果,两者基本符合。

同时,从图4可以看出,理论计算和仿真结果都说明了,在系统负载较小时,节点响应时间一直维持一个较低的水平;而在系统负载接近于1时,节点响应时间急剧增大。这说明,Link 16数据链系统TDMA协议在系统负载较小时,具有较好的实时性;而在系统负载接近于1时,系统性能将急剧恶化。

从图5可以看出,随着时间阈值的增加,系统能够容纳的节点数量逐渐增多,但是,存在一定的极限值。理论分析这一极限值为100,从图上也能大致看出这一趋势。也就是说,同节点响应时间的理论计算和仿真结果说明的情况相同,当系统负载趋向于1时,系统将无法稳定运行,性能将急剧恶化。

结束语 建模和仿真在战术数据链全生命周期中具有重要作用,本文对战术数据链媒体接入控制协议仿真评价方法进行了研究,并通过示例说明了方法的有效性。但是,本文仅研究了时隙分配协议的仿真评价问题。然而,随着通信技术的发展,越来越多的新技术,例如正交频分多址技术、混合媒体接入控制技术等等被引入到战术数据链中,因此,下一步需要跟踪战术数据链媒体接入控制技术的发展,及时开展相应的评价方法研究,并通过实例加以检验。

参考文献

[1] 孔义明,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

- [2] Cruz C I. Netwars-based Study of Joint Stars Link-16 Network [D]. Air University,2004
- [3] Hao C, JingMing K, ZunWen H. Modeling and Simulation of Link16 Network Using OPNET [A]// The International Conference on Communication and Inforation [C]. 2005;556-559
- [4] 邢智,戴浩. 基于OPNET的Link16数据链建模与仿真[J]. 军事运筹与系统工程,2005,19(1):62-66
- [5] 杨静. 地空数据链协议的研究与仿真[D]. 成都:电子科技大学,2007
- [6] 帅国祥. Link 16协议开发和关键技术研究[D]. 南京:东南大学,2008
- [7] 任培. 战术数据链传输时延及其作战效果影响分析方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2009
- [8] 吴汉平译. 电子战建模与仿真导论[M]. 北京:电子工业出版社,2004
- [9] Navy Center for Tactical Systems Interoperability(NCTSD); Understanding Link-16; A Guidebook for New Users(Third Revision) [Z]. Northrop Grumman Corporation Information Technology Communication & Information Systems Division,2001
- [10] 梅文化,蔡善法. JTIDS/Link 16数据链[M]. 北京:国防工业出版社,2007
- [11] 王文政,杨光,周经伦. Link 16数据链系统容量研究[J]. 计算机工程与应用,2009,45(8):26-28

(上接第106页)

情况下的M-EDCA的性能。此时由于增加的是视频数据流,平均传输速率达到1.1Mbits/s,带宽占用远远大于前一场景,因此在节点增加的过程中,整个网络负载远远大于前一场景。仿真结果如图5所示,可以看出当EDCA吞吐量下降到95%以下而不能满足音频数据流的性能要求时,M-EDCA依然可以比EDCA多支持额外的2组4个视频数据流节点,因此M-EDCA也能提高视频数据流的QoS性能。

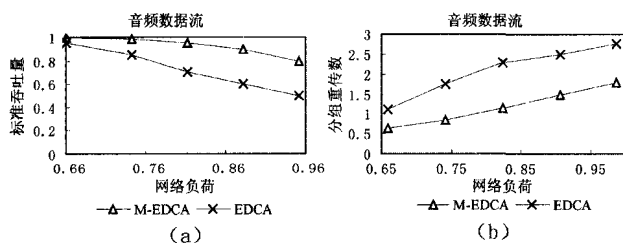


图5 场景3中不同网络负载的吞吐量或分组重传数

总之,仿真结果显示M-EDCA比EDCA对音频数据流和视频数据流提供了更好的QoS保障。

结束语 本文详细分析了IEEE802.11e EDCA接入机制的优点和不足,并指出IEEE802.11e EDCA接入机制在高背景负载的条件下,高优先级数据流的信道竞争优势会由于大量低优先级数据流的存在而削弱。为了在高背景数据流的情况下提高高优先级数据流的信道接入成功概率,本文提出了一种基于业务区分的多请求算法,即利用自适应的连续的变次数RTS请求,提高高优先级业务的接入概率,同时该算法也考虑到了高优先级业务之间的竞争,提出了高优先级业

务同时接入信道的避让策略,减少了高优先级业务之间的碰撞。理论分析和仿真结果表明了该算法可以有效地提高高优先级数据流的接入成功概率,从而保护高优先级数据流的端到端吞吐量,减少其分组重传次数和分组时延。

参考文献

- [1] Yang Xiao. Performance Analysis of IEEE802.11e EDCF Under Saturation Condition[C]// Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Communications (ICC2004). IEEE, June 2004;170-174
- [2] 王朝翔,韦蓉,丁炜. 带拥塞控制的多预约MAC协议[J]. 电子科技大学学报,2008,37(5):765-768
- [3] IEEE Std 802.11/D5.0. Draft Supplement to Standard for Telecommunication and Information Exchange between Systems-LAN/MAN Special Requirements. Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service[S]. July 2003
- [4] 王刚,周银东,梅顺良. IEEE 802.11e EDCA网络模型分析[J]. 清华大学学报:自然科学版,2005,45(10):1389-1392
- [5] Robinson J W, Randhawa T S. Saturation throughput analysis of IEEE 802.11e enhanced distributed coordination function[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(5):917-928
- [6] Tao Z, Panwar S. An Analytical Model for the IEEE 802.11e Enhanced Distributed Coordination Function[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Communications. 2004, 7: 4111-4117