

基于排队论的数据链系统信息传输时间延迟分析^{*})

任 培 周经伦 罗鹏程 王文政

(国防科学技术大学信息系统与管理学院 长沙 410073)

摘 要 针对数据链系统信息传输时间延迟问题,分析了数据链系统中两点之间直接信息传输、通过中继站信息传输、跨数据链系统信息传输的一般过程;给出了利用排队论分析数据链系统信息传输时间延迟的一般流程;最后以美军 JTIDS 为例,分析了预警机在一定的时隙分配方案下的信息传输时间延迟。

关键词 数据链,时间延迟,排队论,JTIDS

Time Delay Analysis of Datalink System Message Transmission Based on Queue Theory

REN Pei ZHOU Jing-lun LUO Peng-cheng WANG Wen-zheng

(School of Information System & Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract The general message transmission process between two points in datalink system, which includes direct message transmission, message transmission through relay and message transmission between two points from different datalink systems, is analyzed. A basic procedure of time delay analysis using queue theory is presented. Finally, using the JTIDS of the US army as an example, the time delay of early warning plane with certain time slot allocation algorithm is discussed.

Keywords Datalink, Time delay, Queue theory, JTIDS

1 引言

数据链是装备在作战单元上的数据通信与处理系统,该系统不仅具有通信设备的功能,能够按照约定的通信协议,通过有线或者无线信道实时、可靠、安全、保密地收发格式化的信息,构成一个数据通信网络;还可以对接收到的各种信息(本单元的传感器信息、武器装备信息以及从其它作战单元接收的各类信息)进行(融合)处理,在一定程度上实现相对导航、敌我识别、武器引导、态势共享等功能。数据链将众多复杂的武器平台以及指挥控制平台有机地连为一体,实现了战场态势共享,缩短了决策时间,提高指挥控制速度及协同作战能力,是作战效能的“倍增器”。这种倍增效果的产生,从根本上说,是由于作战单元装备数据链后所获得或者增强了信息优势。作为衡量信息优势的一个重要指标,信息的时效性,与数据链系统的信息传输时间延迟密切相关。

数据链系统的信息传输时间延迟受数据链系统的资源配置、服务规则以及所传输信息的特点等因素的影响,分析时间延迟能够为该指标的优化奠定基础,也可确定为作战单元的定位误差、武器发射诸元的装订误差等的误差补偿措施提供重要依据。例如,飞机飞行速度达到音速或亚音速时,如作战单元之间传输定位信息的延迟为 1 秒,则由此引起的定位误差可能达到数百米,必须根据时间延迟进行空中定位的误差补偿。因此,对数据链系统的信息传输时间延迟进行分析具有重要的理论意义和应用价值。

2 数据链系统信息传输过程

信息传输时间延迟是指从发送站到达报文到接收站接收

到报文这两个时刻的时间间隔。分析数据链系统的信息传输过程是进行延迟分析的基础,其过程如图 1 所示。

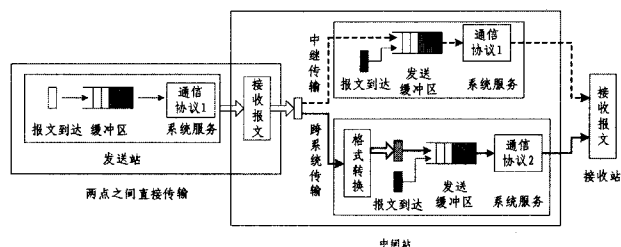


图 1 数据链系统信息传输过程

(1) 两点之间直接信息传输

两点之间直接信息传输,其过程如图 1 中的虚线框所示。首先,发送站生成一个格式化的报文,该报文进入发送缓冲区,按照排队规则等待系统对其进行服务;随后,当报文在发送缓冲区中位于第一位后,系统按照通信协议的要求在约定的时间对报文进行编码、调制、加密等处理,通过天线发送出去;最后,电磁信号在媒介中进行传播,接收站接收报文。

(2) 两点之间通过中继进行信息传输

当站点之间不可视,不能够直接互通信息时,需要通过中间站点进行中继传输,其信息传输过程如图 1 中虚线框和虚线所示的过程,该过程由两个独立的报文传输过程构成,发送站生成报文后,首先发送至中间站,中间站收到此报文后,再将此报文发送至接收站。

(3) 两点之间跨数据链系统进行信息传输

不同军兵种之间的互联互通是多军兵种联合作战的基本要求,数据链发展初期是各军兵种根据自己的军事需求独立

^{*})“十一五”装备预先研究项目,项目编号:513040205。任 培 博士研究生,主要从事数据链建模与仿真、作战应用及效能评估方法的研究;周经伦 教授,博士生导师,主要从事装备系统工程、系统可靠性、安全性分析方面的研究。

研制建设的,缺乏统一规范。不同军兵种的数据链采用的通信协议、报文标准不同,不能够直接互联互通。因此,当分属于不同数据链系统的两个站点进行信息传输时,需要一个与这两个数据链系统都兼容的中间站点进行转发,其信息传输过程如图1中虚线框和实线所示。跨数据链系统传输和中继的区别在于:中继传输时,发送站与中间站之间、中间站与接收站之间采用的通信协议相同;而跨数据链系统传输时,发送站与中间站、中间站与接收站之间采用的通信协议不同。中间站通过与发送站使用相同的通信协议,从发送站接收报文,随后采用接收站使用的通信协议,将此报文转发给接收站。中间站在进行报文转发之前,需要对报文进行格式转换,使之适应中间站与接收站之间采用的通信协议。

3 时间延迟求解的一般过程

从报文传输过程可见,报文在传输过程中产生的时延主要由排队等待时间、系统服务时间、信号传播时间三部分构成。在一个数据链系统中,由于作战单元之间的距离一般在300海里以内,数据的传播时间一般是1ms左右,远远小于排队等待时间和系统服务时间。因此,延迟主要由排队等待时间和系统服务时间引起。确定了站点的报文到达过程和系统服务时间,就可应用排队论模型求出报文在系统中的逗留时间,即数据链系统信息传输时间延迟。根据数据链系统的信息传输过程,给出如图2所示的求解数据链系统的时间延迟的流程图。

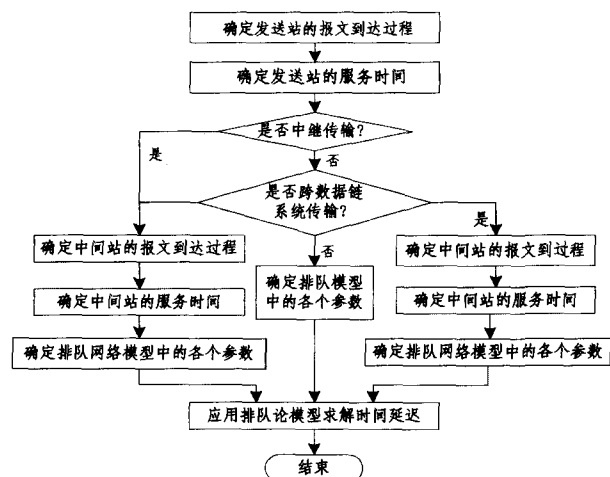


图2 数据链系统时间延迟分析流程图

- (1)确定发送站的报文到达过程,记为 G_A 。
- (2)依据发送站与中间站进行信息传输时采用的通信协议,确定系统对发送站报文的服务时间,记为 S_A 。
- (3)如果报文需要进行中继传输,转(5),否则进行下一步。

- (4)如果报文需要跨数据链系统传输,转(7),否则转(8)

- (5)确定中间站的报文到达过程,记为 G_B 。

中间站的报文到达过程不仅与其自身有关,还与发送站的报文退去过程和中间站的中继方式有关。当中间站偶尔接收到需要进行中继传输的报文,本身也生成报文时,中间站的报文到达过程不受收到的中继报文的影响;当中间站专门中继传输,本身不生成报文时,中间站的报文到达过程就是发送站的报文退去过程;当中间站用来中继传输,本身也生成报文时,中间站的报文到达过程是发送站的报文退去过程与中间站自己报文到达过程的和。

- (6)依据中间站与接收站信息传输时采用的通信协议,确

定系统对中间站报文的的服务时间,记为 S_B 。

- (7)确定中间站报文到达过程与系统对中间站报文的的服务时间,分析方法与中继传输时类似。

- (8)应用排队论模型求解时间延迟。

求解两点之间信息传输延迟,可用排队模型 $G_A/S_A/1$;求解中继或跨数据链系统传输延迟,可用排队网络模型 $G_A/S_A/1 \rightarrow G_B/S_B/1$ 。结束分析。

4 实例分析

JTIDS(Joint Tactical Information Distribution System)是美军广泛采用的一种新型战术数据链路,具有监视、电子战、任务管理、武器协调、相对导航和敌我识别等功能。它采用TDMA协议,该协议将1天划分成112.5个时元,每个时元划分为98304个时隙,每个时隙长7.8125ms,用于作战单元传输数据。一个时元中的98304个时隙分成A,B,C三个组,每组有32768个时隙,时元内连续的3个时隙分属于3个不同的组,时隙编号为A0,B0,C0—A32767,B32767,C32767,如图3所示。

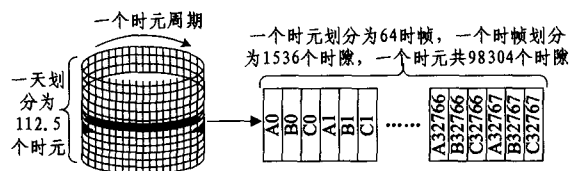


图3 JTIDS的时隙划分

作战单元占用时隙的方法是进行信息传输时间延迟分析的基础。由于保密的原因,美军并未公开JTIDS的具体时隙分配方法,见参考文献[1-4],本文采用如下分配方法进行分析:时隙分配以时元为周期,时隙以时隙块的形式分配给网络中的作战单元,时隙块由等间隔的时隙组合而成,其表示方法为Set-Index-RRN,其中Set取A或B或C,表示该时隙是取自哪个组,Index表示起始时隙号,取值范围为0到32767;RRN表示时隙的重现率,取值范围为0到15,它决定被分配的时隙中,两个相邻时隙的间隔。例如,A-2-11表示它属于时隙组A,以第2个时隙开始,每16个时隙出现1次。本文将Set-Index-RRN称为作战单元的时隙分配参数,当作战单元的时隙分配参数确定后,其在一个时元中所占用的时隙位置也就确定了,根据时隙分配参数可以求得作战单元两个相邻的发送时隙的间隔为 $2^{15-RRN} \times 3$;一个发送周期的时间长度 $2^{15-RRN} \times \tau \times 3$,其中 τ 为一个时隙的时间长度;一个时元内,分配给该作战单元的时隙个数为 2^{RRN} 。作战单元的时隙分配参数确定后,其服务时间也被确定。

在JTIDS中,两个作战单元之间直接进行信息传输,其过程如图4所示。需要传输信息时,装有JTIDS端机的作战单元A生成一个报文,存入本单元的发送缓冲区,按照排队规则等待系统对其进行服务。当报文在发送缓冲区中位于第一位后,系统对该报文提供服务,在指定的时隙将报文发送出去。最后,电磁信号在媒介中进行传播,接收方接收报文。

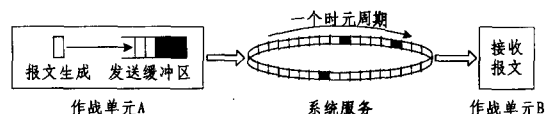


图4 两点之间直接信息

类区进行并行的 PORN 空间覆盖。通过以上实验证明,此方法更加符合每个说话人的特征向量在高维空间中的分布特点,取得了比较令人满意的实验效果。同时,降低 LBG 的时间复杂性,选择更加复杂的神经元结构,将成为今后的研究方向。

参考文献

- [1] Zhang Y B, Zhou J. Audio Segmentation Based on Multi-scale Audio Classification[C]//Proc. of IEEE ICASSP. 2004; 349-352
- [2] Reynolds D A. Speaker identification and verification using Gaussian mixture. Speech Communication, 1995, 17: 19-108
- [3] Zhang Xinyi. Optimum Vector Quantization Codebook Design for Speaker Recognition[C]//Proc. of the ICSP. 2004; 1397-1402
- [4] 王守觉. 仿生模式识别(拓扑模式识别)——一种模式识别新模

型的理论与应用[J]. 电子学报, 2002, 30(10): 1417-1420

- [5] Wang Showjue. Priority Ordered Neural Networks with Better Similarity to Human Knowledge Representation[J]. Chinese Journal of Electronics, 1999, 8(1): 1-4
- [6] Zolnay A, Schlüter R, Ney H. Acoustic Feature Combination for Robust Speech Recognition//IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Philadelphia, PA, March 2005
- [7] 王守觉, 潘晓霞, 徐春燕, 等. 一种基于高维空间覆盖动态搜索方法的非特定人连续数字语音识别的研究. 电子学报, 2005, 10: 1790-1793
- [8] Reynolds D A. Experimental evaluation of features for robust speaker identification pl. IEEE Trans. Speech and Audio Proc. , 1994, 10(2): 639-643

(上接第 94 页)

设作战单元 A 的报文到达为参数为 λ_A 的泊松过程, 服务率为 μ_A , 由时隙分配方法可知, 作战单元的发送时隙在一个时元周期内是均匀分布的, 每隔一个固定时间发送一个报文, 故作战单元 A 的服务时间为定长分布。因此, 可用 M/D/1 排队模型^[5] 求解时间延迟。令 $\rho_A = \frac{\lambda_A}{\mu_A}$, 记 W_A 为报文的平均延迟时间, 可得:

$$W_A = \frac{1}{\mu_A} + \frac{\rho_A}{2\mu_A(1-\rho_A)} \quad (1)$$

作为指挥、控制、通信中心的预警机, 平均每秒钟生成约 17 报文。设其时隙分配参数为 A-1-14, 则在一个时元周期中, 该预警机总共有 16384 个发送时隙, 一个发送周期为 6τ , 即对报文的服务率为 21.3。由式(1)可得该预警机的报文平均延迟时间为 0.138 秒。

图 5 给出了取定服务率时, 报文的平均延迟时间随报文到达率的变化情况, 服务率取定(21.3)时, 随着报文到达率的提高, 预警机的信息传输延迟也逐渐增大, 报文到达率为 17 时, 时间延迟约为 0.139 秒, 当报文到达率接近于系统的服务率时, 时间延迟急剧增大。

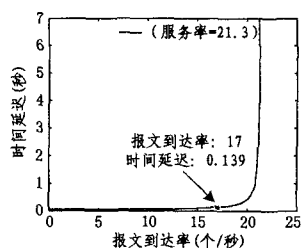


图 5 报文的平均延迟时间随报文到达率的变化情况

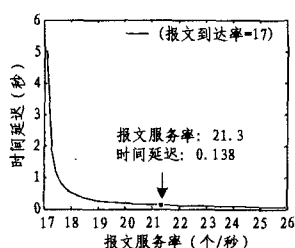


图 6 报文的平均延迟时间随服务率的变化情况

图 6 给出了报文到达率取定时, 报文的平均延迟时间随服务率的变化情况, 报文到达率取定(17)时, 预警机的信息传输延迟随着系统服务率的提高而减小, 服务率为 21.3 时, 时间延迟为 0.138 秒, 而当报文服务率下降接近于报文到达率时, 时间延迟急剧增大。

由以上分析可知, JTIDS 报文的传输延迟主要取决于发送站点的报文到达率和服务率, 由于报文的生成率主要取决于实际应用背景, 故要减小时间延迟, 必须提高站点的服务率, 即分配给发送站点尽量多的时隙, 但一个作战单元时隙分

配过多, 会使 JTIDS 容纳的作战单元个数减少。在 JTIDS 中, 需要传输 256 种报文, 不同报文的到达率不同, 对时间延迟的要求也不同。例如对于执行远程拦截任务的战斗机, 在 12.8 分的时元内, 只需要用 1 个时隙来更新发射器位置和状态信息; 而对于传输目标航迹信息的报文, 则希望有较多的发送时隙, 从而有较短的发送周期, 能够较快地更新目标的航迹信息。但是针对此类报文的时隙分配也不是越多越好, 时隙分配的数量要考虑雷达的探测周期, 如果报文发送周期比雷达的一个探测周期小得多, 则可能造成两个相邻的航迹信息报文传达了同一个航迹信息, 造成了时隙资源的浪费。因此, 需要综合考虑作战单元所承担的任务、发送报文的类别, 以及该报文到达率、报文对时间延迟的要求等因素, 确定分配一个作战单元的时隙个数, 将报文的时间延迟控制在可接受的范围内前提下, 尽量少地占用时隙资源, 容纳较多作战单元。

结束语 本文分析了数据链系统中两点之间直接信息传输、中继信息传输、跨数据链信息传输这三种情况的信息传输过程。给出了利用排队论分析数据链系统信息传输时间延迟的一般流程; 最后分析了美军 JTIDS 中两点之间直接信息传输的时间延迟。本文的分析过程假设信息传输过程是理想的, 即不会出现报文丢失的情况, 接收站不需要发送确认信息。没有考虑报文优先级、报文长度、时隙大小、装备可靠性等因素对报文传输时间延迟的影响。在实际求解过程中, 考虑的影响因素越多, 越难应用排队论模型求出一个解析解。下一步工作是: 建立数据链系统的仿真平台, 以信息传输延迟的各种影响因素为约束, 仿真求解数据链系统的信息传输延迟, 并进行系统优化。

参考文献

- [1] JTIDS(Joint Tactical Information Distribution System)-Link 16 [J/OL]2003. 11
- [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] 陈春明, 王可人. 基于 OPNET 的 JTIDS 网络仿真平台设计[J]. 舰船电子工程, 2006, 25(6): 107-110
- [4] 邢智, 戴浩. 基于 OPNET 的 Link-16 数据链建模与仿真[J]. 军事运筹与系统工程, 2005, 19(1): 62-66
- [5] 华兴. 排队论与随机服务系统[M]. 上海: 上海翻译出版公司, 1987