

JTIDS 信息传输时间延迟分析

任培, 周经伦, 罗鹏程, 杨光

(国防科学技术大学信息系统与管理学院, 长沙 410073)

摘要: 针对 JTIDS 的信息传输时间延迟问题, 分析 JTIDS 中两点之间的 3 种信息传输过程(直接信息传输、通过中继站信息传输、高优先级信息传输), 将信息传输过程抽象为排队论模型, 给出时间延迟的求解方法, 分析预警机在一定的时隙分配方案下传输各类信息的时间延迟。分析结果表明, JTIDS 系统能够依据传输信息的种类, 较好地控制信息传输时间延迟, 满足作战需求。

关键词: 数据链; 时间延迟; 排队论; JTIDS 系统

Time Delay Analysis of JTIDS Message Transmission

REN Pei, ZHOU Jing-lun, LUO Peng-cheng, YANG Guang

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

【Abstract】 This paper focuses on the time delay of JTIDS. Three message transmission processes, direct message transmission, message transmission through relay and prior message transmission are analyzed and modeled as queue theory models. Methods to calculate the time delay are proposed. It analyzes the time delay of early warning plane under certain time slot allocation method. Results show that, JTIDS meets the operation needs by controlling the time delay with respect to the category of the message.

【Key words】 datalink; time delay; queue theory; JTIDS

1 概述

JTIDS(Joint Tactical Information Distribution System)是被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。通过 JTIDS,可以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,实现战场态势共享,缩短决策时间,提高指挥控制速度及协同作战能力,这些特点使其成为美军作战效能的“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 JTIDS 后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 JTIDS 的信息传输时间延迟密切相关。

2 JTIDS 时隙分配方法

JTIDS采用TDMA协议,协议将1天划分成112.5个时元,每个时元划分成64个时帧,每个时帧划分成1536个时隙,每个时隙长7.812 5 ms,用于用户的数据传输。一个时元中的98 304个时隙被分为A、B、C3个组,每组有32 768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A_0、B_0、C_0——A_32767、B_32767、C_32767^[1],如图1所示。

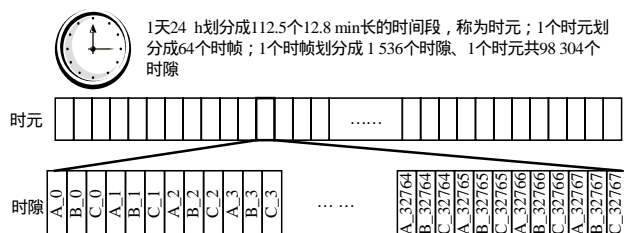


图1 JTIDS的时隙划分

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,美军并没有公开 JTIDS 的具体时

隙分配方法,以文献[2-4]为基础,本文采用如下的分配方法: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用户,时隙块由等间隔的时隙组合而成,其表示方法为 Set-Index-RRN, Set 取 A、B、C 中任意一个,表示该时隙是取自哪个组, Index 表示起始时隙号,取值范围为 0~32 767; RRN 表示时隙的重现率,取值范围为 0~15,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 称为一个用户得时隙分配参数,当一个用户的时隙分配参数确定后,该用户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一个用户的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为 $2^{15-RRN} \times 3 \times \tau$, 其中, τ 为一个时隙的时间长度; 一个时元内, 分配给该用户的时隙个数为 2^{RRN} 。

3 时间延迟分析

信息传输时间延迟是指从发送站生成报文到接收站接收到报文这两个时刻的时间间隔。下面分 3 种情况对时间延迟进行分析。

3.1 两点之间信息传输时间延迟

在 JTIDS 中,两个作战单元之间直接进行信息传输,过程如图 2 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。报文在发送缓冲区中位于第一位

基金项目: 国家部委预研基金资助项目

作者简介: 任培(1978-),男,博士研究生,主研方向:数据链系统仿真,作战应用与效能评估;周经伦,教授、博士生导师;罗鹏程,副教授;杨光,博士研究生

收稿日期: 2008-01-25 **E-mail:** renbeibe626@hotmail.com

后,对该报文进行编码、加密、调制等处理,在指定时隙,将报文发送出去。电磁信号在媒介中进行传播,接收方接收报文。从报文的传输过程可以看出,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 3 个部分构成。JTIDS 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 1 ms 左右,远远小于排队等待时间和系统服务时间,因此在分析信息传输时间延迟时,主要考虑排队等待时间和系统服务时间。

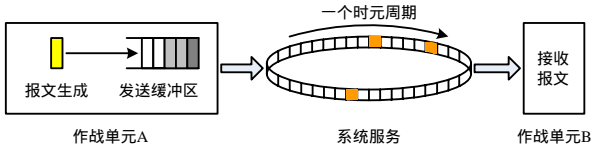


图2 两点之间直接信息传输

设作战单元A的报文生成服从参数为 λ_A 的泊松过程,站点A的服务率为 μ_A ,由时隙分配方法可知,一个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,所以站点A的服务率 μ_A 为定长分布,该报文传输过程可以抽象为一个M/D/1 排队系统,令 $\rho_A = \lambda_A / \mu_A$,记 W_A 为报文的平均延迟时间,可以得到报文的平均延迟时间为^[5]

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

3.2 通过中继的信息传输时间延迟

当作战单元之间不可视,不能够通过无线直接互通信息时,需要通过中继站点进行中继传输,如图3所示,该过程由两个独立的报文传输过程构成,作战单元A首先将报文发送至作战单元B,作战单元B将收到的需要中继的报文,存入相应的缓冲区,并在本站的中继时隙到达后将此报文转发至作战单元C。

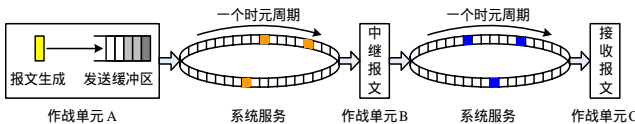


图3 两点之间通过中继进行信息传输

设作战单元A的报文生成服从参数为 λ_A 的泊松过程,站点A的服务率为 μ_A 。在站点B,它不仅从作战单元A接受需要中继的报文,还有可能从其它站点接受需要中继的报文,因此,本处假设中继报文到达站点B是一个参数为 λ_B 的泊松过程,站点B的服务率为 μ_B ,由于站点A和站点B的服务时间均为定长分布,因此,报文从A传输到B和从B传输到C这两个传输过程均可以抽象为一个M/D/1 排队系统,令 $\rho_A = \lambda_A / \mu_A$ 、 $\rho_B = \lambda_B / \mu_B$,记 T 为通过中继传输报文的平均延迟时间,可得:

$$T = \frac{1}{\mu_A} + \frac{\rho_A}{2\mu_A(1-\rho_A)} + \frac{1}{\mu_B} + \frac{\rho_B}{2\mu_B(1-\rho_B)} \quad (2)$$

3.3 高优先级报文传输时间延迟

目前, JTIDS 中并没有对报文进行优先级分类,但在一些紧急情况下,作战单元需要立即发送某些信息,例如预警机指示战斗机取消武器发射的指令信息、各种告警信息等。为了能够尽快发送这类紧急信息,可以把报文标上优先级,并在每一个 JTIDS 终端中配置一个优先级处理器,对这类拥有高优先级的紧急信息进行优先级处理,使得该报文不需要

在发送缓冲区内排队,而在本作战单元最近的发送时隙到来后,将报文发送出去,发送过程如图4所示。

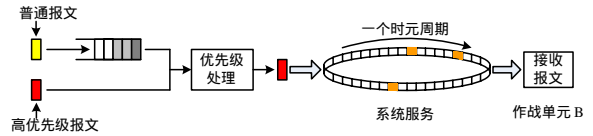


图4 高优先级报文的发送过程

由于高优先级报文的生成是一个偶然情况,因此可以认为不会出现高优先级报文排队的情况,或者说,高优先级报文的到达率很低,高优先级报文生成后,可以直接接受系统服务。设一个发送周期有 N_i 个时隙,在一个发送周期中,高优先级报文在每一个时隙生成的可能性相同,服从均匀分布,则在每一个时隙生成的概率是: $1/N_i$,如果报文在第 i 个时隙到达,此时的时间延迟为 $t_s = (N_i - i) \times \tau$,其中 $0 \leq i \leq N_i - 1$,如图5所示。

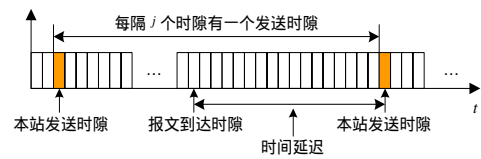


图5 时间延迟示意图

报文的平均延迟时间为

$$\bar{t}_s = \sum_{i=0}^{N_i-1} \frac{1}{N_i} (N_i - i) \times \tau \quad (3)$$

4 示例分析

对于一个作为是指挥、控制、通信中心的预警机,平均每秒钟生成的报文数量约为 17 个左右。假设此预警机的时隙分配参数为 A-1-14,那么在一个时元周期中,该预警机总共有 16 384 个发送时隙,相邻发送时隙之间的间隔为 6,一个发送周期为 6 τ ,即对报文的的服务率为 21.3 个/s。由式(1)可以算出该预警机的信息传输时间延迟为 0.138 s。

图6给出了服务率一定的情况下,报文的平均延迟时间随报文到达率的变化情况,在预警机的服务率为一定的情况下(取 21.3 个/s),随着报文到达率的增大,预警机的信息传输延迟也逐渐增大,报文到达率为 17 个/s 时,产生的时间延迟约为 0.139 s。而当报文到达率接近于系统的服务率,时间延迟急剧增大。图7给出了报文到达率一定的情况下,报文的平均延迟时间随服务率的变化情况,在报文到达率一定的情况下(取 17 个/s),预警机的信息传输延迟随着系统的服务率的增大而减小,服务率为 21.3 个/s 的情况下,产生的时间延迟为 0.138 s,而当报文服务率接近于报文到达率时,时间延迟急剧增大。

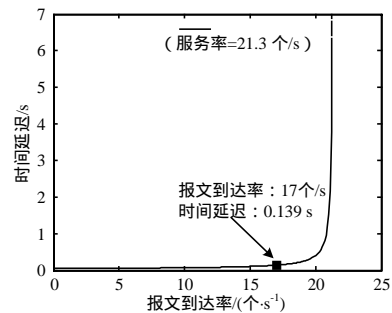


图6 报文的平均延迟时间随报文到达率的变化情况

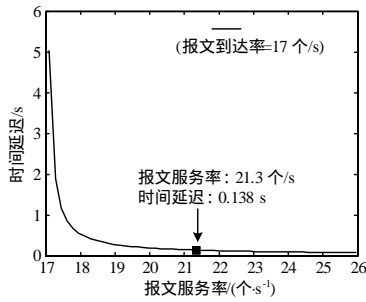


图7 报文的平均延迟时间随服务率的变化情况

由式(3)可以求出该预警机传输一个高优先级报文的时间延迟 0.027 s, 与传输一般报文的时间延迟对比情况如表 1 所示, 时隙分配方案一定的情况下, 高优先级报文传输的时间延迟明显优于普通报文传输。普通报文与高优先级报文时间延迟分别为: 0.027 s, 0.138 s。

当战斗机需要将某一报文通过预警机进行中继传输给另一个作战单元时, 假设战斗机的时隙分配参数为 B-11-8, 平均一个时隙需要传输 2 个报文。预警机用于中继的时隙分配参数为 A-1-12, 中继报文的到达率取 4。由式(2)可以求出进行中继信息传输时, 报文所产生的平均时间延迟为 4.97 s。此时间延迟较大, 主要是由于分给战斗机的发送时隙大大减少, 一个时元只有 256 个, 站点的服务率只有 0.33, 使得报文仅从战斗机发送到中继站点就产生了大约 4.5 s 的时间。

图 8 给出了在中继站点服务能力一定的情况下, 通过中继传输报文的时间延迟随中继报文到达率的变化情况, 可以看出, 在发送站的报文到达率和服务率以及中继站点的服务率一定的情况下, 延迟随着中继站点的中继报文到达率的增大而增大, 当中继报文到达率接近于中继站点对中继报文的服务率时, 时间延迟急剧增加。

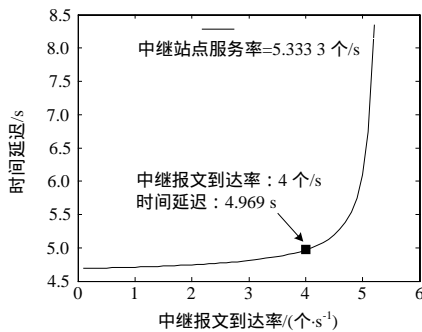


图8 中继报文的平均延迟时间随报文到达率的变化情况

由上面的分析可知, JTIDS 报文的传输延迟主要取决于

发送站点的报文的生成率和服务率, 由于报文的生成率主要取决于实际应用背景, 要想减小时间延迟, 则必须提高站点的服务率, 也就是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, 需要传输的报文有 256 种, 不同报文生成速率不同、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 个时隙来发射器位置和状态信息, 它对时间延迟的要求就很低。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到雷达的探测周期, 如果报文发送周期比雷达的一个探测周期小得多, 那么可能造成两个相邻的航迹信息报文传送了同一个航迹信息, 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、以及该报文生成速率、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, 达到将报文的时间延迟控制在可接收的范围内前提下, 尽量少地占用时隙资源, 容纳较多作战单元的目的。

5 结束语

本文介绍 JTIDS 的时隙分配方法, 分析 JTIDS 中两点之间的 3 种情况的信息传输过程, 利用排队论的思想对信息传输时间延迟进行实例分析。本文的分析过程是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、装备可靠性等多种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, 越难应用排队论求出一个解析解。下一步工作是, 考虑信息传输延迟的各种影响因素, 利用通信系统仿真工具建立数据链系统的仿真平台, 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] 梅文华, 蔡善法. JTIDS/Link16 数据链[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [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, 1987-07.

(上接第 11 页)

参考文献

- [1] Hunsucker J L, Shah J R. Comparative Performance Analysis of Priority Rules in a Constrained Flow Shop with Multiple Processor Environment[J]. European Journal of Operational Research, 1994, 72(8): 102-104.
- [2] Guinet A. Scheduling Hybrid Flowshops to Minimize Maximum Tardiness or Maximum Completion Time[J]. International Journal of Production Research, 1996, 34(12): 1643-1654.
- [3] 李霄峰, 邵惠鹤. 求解 HFS 调度问题的简化禁忌搜索方案[J]. 上海交通大学学报, 2003, 37(4): 315-320.
- [4] Ruiz R, Maroto C. A Genetic Algorithm for Hybrid Flowshops with Sequence Dependent Setup Times and Machine Eligibility[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 169(3): 781-800.
- [5] Hurink J, Jurisch B, Thole M. Tabu Search for Jobshop Scheduling Problem with Multipurpose Machines[J]. OR Spektrum, 1994, 15(5): 205-215.
- [6] 李霄峰, 邵惠鹤, 任德祥. 基于改进的 RA 算法的 HFS 调度问题的求解[J]. 计算机工程, 2002, 28(5): 233-235.