

面向具体任务的最小裕度系统建模与仿真^①

吴正午, 付建川, 蒋昊东, 左军涛

(信息系统工程重点实验室, 北京 100038)

摘要: 在以往的导弹武器信息处理设备的先期系统方案设计过程中通常无法对信息处理算法、软件调度、运算时间经常无法做出特别准确的估计, 为保证系统性能而盲目选择高配置的硬件就可能造成资源上不必要的浪费. 针对该问题, 首先通过工具软件进行仿真建模, 面向明确的任务对信息处理器运算能力、软件处理流程、数据接口、数据包结构模拟, 接下来结合具体需求对仿真结果进行分析, 判断从指标和功能上是否满足系统方案的设计, 最后提出, 利用仿真建模技术以最小裕度完成系统的设计, 在满足功能性能和技术指标的要求的同时, 合理降低硬件资源配置, 可以有效节约成本.

关键词: 信息处理; 最小裕度; 仿真; 建模

Simulation and Modeling of Specific Task-Oriented Minimum Margin System

WU Zheng-Wu, FU Jian-Chuan, JIANG Hao-Dong, ZUO Jun-Tao

(Science and Technology on Information Systems Engineering Laboratory, Beijing 100038, China)

Abstract: It is a waste of resource that excess hardware is chosen to satisfy system requirement without exact evaluation of information process arithmetic, software framework and runtime during the period that weapon system information process scheme is being designed. To resolve this problem, modeling is being done using the tool software firstly, in which the ability of information processor, software flow, data interface and data structure are all simulated. Then Simulation results are analysed according to specific requirement. At last a conclusion is given that Designing of Minimum margin system that using Simulation and Modeling can ensure the function and capability and reduce cost the at the same time.

Key words: information process; minimum margin; simulation; modeling

随着作战需求和使命的不断变化, 导弹武器信息处理设备逐渐承担起更多种类、更加复杂的任务, 其系统外部接口数量增多, 内部功能越来越逻辑复杂, 这些都需要严格的算法及处理时序设计, 特别是对于数据的完整性、实时性要求高的场合, 必须严格控制处理器占用率接口缓冲区大小和消息处理时序. 通常在导弹武器系统信息处理设备的先期系统整体方案确定后才能进行软件功能的设计实现, 但是在方案阶段就希望准确估计出算法的实现细节、软件的架构、运算的耗时情况是不现实的, 而为保证系统性能而盲目选择高性能的硬件造成资源上不必要的浪费. 本文提

出的面向具体任务的最小裕度设计建模与仿真方法, 目的就是用于在系统方案设计阶段为某些功能的实现和指标的确定提供依据, 弥补以往仿真验证方法无法解决的在系统软硬件方案设计的初期存在诸多不确定性的不足.

本文基于离散事件建模技术, 针对面向具体任务的最小裕度系统设计进行建模与仿真, 相对于以往的离散系统仿真建模方法的研究更具有针对性和实用性. 以往离散系统仿真建模的相关研究通常从理论层面针对仿真性能、效率优化和具体仿真策略进行研究. 例如参考文献[1]深入分析了如何利用并行离散事件仿

^① 收稿时间:2014-11-22;收到修改稿时间:2015-01-05

真技术提高复杂系统仿真的运行效率并提出了面向复杂系统应用的开放式并行离散事件仿真框架. 参考文献[2]主要研究的是并行离散仿真系统的数据分发管理服务机制及实现.

1 系统建模与仿真

1.1 面向任务需求分析

由于弹上信息处理设备的系统状态的演化是由一些列离散时刻发生信息输入所驱动的, 而信息输入的发生都是出现在离散时间点上, 并带有一定的自发性和不确定性. 因此, 信息处理设备的模型建立可以用离散事件建模仿真方法. 针对弹上信息处理设备的应用需求, 需要在软件算法优化分析、存储空间优化分析、消息处理时序优化分析、系统裕度分析四个方面解决问题: 针对特定数据的发送频率和单包处理时间, 分析其处理过程所占处理器的时段, 从而对每类数据算法可用的处理器时间进行分析, 形成算法设计需求; 针对特定数据的发送频率和单包数据大小, 结合处理时序, 分析缓存空间大小的最佳设置值; 结合消息到达周期和处理时间, 分析对每种通道的消息处理优先级, 保证所有消息都得到实时处理, 并保证各自缓冲区不出现溢出; 分析系统在现有设计下处理器运行效率、存储器的占用率以及系统整体性能发挥情况, 从而分析系统功能的可拓展程度. 通过离散事件建模与仿真^[3]可以完成信息处理设备的逻辑设计仿真, 进而进行算法优化分析、存储空间优化分析、消息处理时序优化分析、系统裕度分析. 离散事件建模方法包括逻辑层建模方法和性能层建模方法. 在弹上信息处理设备的方案设计和验证阶段, 逻辑层建模和仿真方法是主要工作.

1.2 信息处理模型建立

面向具体的研制任务, 对弹上信息处理系统模型建立最小裕度系统模型, 重点考虑数据通信接口数量和时序, 特别是对于弹上信息处理设备与其他设备存在大量接口, 各接口在数据频率、数据量、数据处理时间差异较大的情况, 搭建的模型可以验证的更加充分. 如图 1 所示搭建了通用和简化的弹上信息处理设备的消息处理流程框图, 其中信息处理的功能由处理器的主线程完成, 接口方面包括四个数据接口, 分别处理不同长度的数据包, 数据接收队列用于缓存接口接收到的数据.

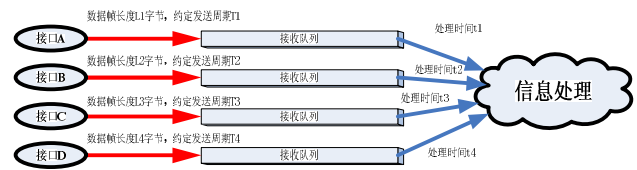


图 1 信息处理接口框图

针对上述的具体应用需求, 建立仿真模型是模拟数据接收缓存和处理时序和延时控制, 目的是对上文中所提到的四个方面的问题进行分析, 同时实现软件的优化设计. 通过 matlab 的离散事件仿真工具箱^[4,5], 将弹上信息处理设备的消息处理流程搭建如图 2 所示模型.

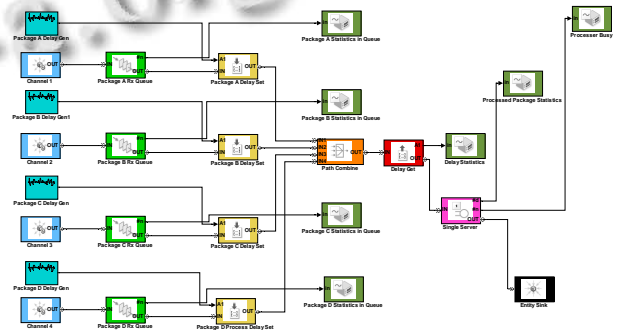


图 2 信息处理时序仿真模型

信息处理时序仿真模型的构成模块主要包括离散事件产生模块、队列模块、实体属性设置模块、随机数产生模块和服务模块. 其中事件产生模块利用基于时间的实体产生器构成, 可通过内部时间从外部的信号量或者统计数据产生实体事件; 队列模块为 FIFO 模式, 其容量为其内部可保存的实体的数量; 服务模块模拟数据消息的核心处理过程, 通过多种方式设置处理时长以控制实体通过的时间. 搭建系统模型时, 使用事件产生模块定期产生事件, 模拟各接口数据到达的时间; 使用队列(Queue)模块模拟每类数据缓存的大小; 实体属性的设置模块和随机数产生模块为各类数据赋予所需处理时间属性; 服务器(Server)模块根据处理时间属性模拟数据处理流程中的延时

2 仿真结果分析

2.1 消息处理时序优化分析

消息处理时序优化分析的核心目的是通过仿真结果结合消息到达周期和处理时间, 获得系统对于各个数据接收通道的消息优先处理的合理配制方法. 在仿

真环境中运行信息处理时序仿真模型，得到如图 3 所示仿真结果。从图中可以看出，由于接口 1 接收的数据包速率快，其队列缓冲积压数据包明显，最多会到达 10 包数据，随着仿真时间的也有可能出现队列中数据进一步增多甚至溢出丢包的现象，无法实现完整的数据接收功能；另一方面接口 2、4 的队列中最多只有 1~2 包，接口 3 队列中有 1 包或者队列为空，即这三个数据通路的数据包接收处理对处理器资源的占用情况明显偏低，造成处理器利用效率不高。

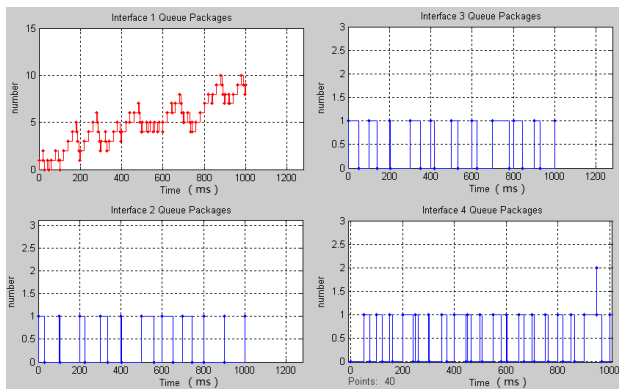


图 3 未优化处理时序的仿真结果

图 3 所示的仿真结果显示，尽管在一定的时间内该算法可以正常实现功能，但是如果系统运行时间较长，超出阈值后就有可能造成接口 1 的队列溢出，在仿真中出现错误提示，也就会造成在实际运行时出现缓冲区满丢失数据。针对这种可能性，修改仿真模型参数，将 1-4 四个接口通道等同的处理优先级，调整算法逻辑优先处理速率相对较高的接口 1 数据，得到如图的仿真结果，此时接口 1 的接收队列不再会出现数据达 3 包的情况，实时性得到提高，同时其他接口的队列中数据包也满足设计需求。

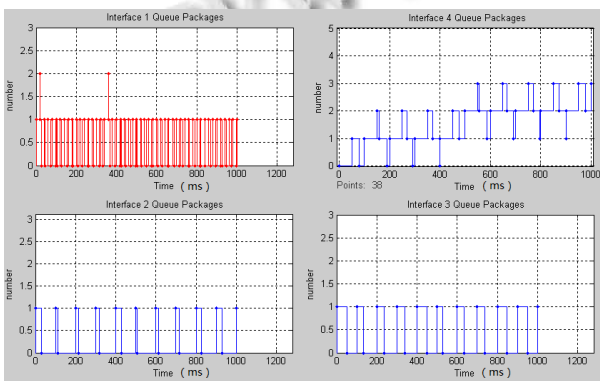


图 4 优化处理时序后仿真结果。

2.2 算法优化辅助分析

采用的离散事件时序仿真方法，本质上是从理论的角度，辅助确定处理逻辑的可行性及其算法处理时间的要求。消息处理设备的设计在满足功能和指标要求的同时，也应考虑到硬件资源的利用效率和系统的余量。将接口 4 的消息处理时间增加为 (原为)，在仿真总时长为 1s 的情况下运行已调整了接口 1 数据包处理优先级别后的模型，得到如图 5 所示的仿真结果。

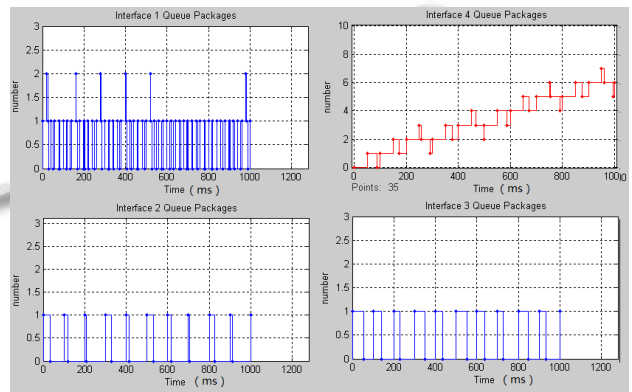


图 5 算法优化前仿真结果

从仿真模型中可以看出，随着仿真时间的增加，接口 4 的缓冲队列中的数据帧个数是一种逐渐增大的趋势，这样无论存储空间分配多大都会造成缓冲区溢出丢包。此时可以通过调整软件优化或者代码级的优化行为减少数据处理耗时的方法以满足要求。

通过仿真得出，如果将接口 2 数据包的处理经过优化，达到左右的处理耗时(原为)，那么重新调整优先级方案后，进行仿真得到如图 6 所示的结果。可以看出，优化算法后不再出现数据溢出现象。如果接口 2 的软件优化或者代码优化后仍无法满足需求，则可以再次进行消息处理时序优化分析，即将接口 2 的消息处理优先级别提高，重新运行仿真模型，分析仿真结果，知道软件算法能够达到处理时间的需求。

2.3 算法优化辅助分析

在优先级方案和接口 2 消息处理延时修改的情况下，保持接口 1-4 的数据发送频率和数据包大小不变，则可以得到各接口缓冲区的大小最小值如表 1 所示。通过存储空间优化分析，可以在系统设计之初完成消息处理器最低缓存空间的需求分析，同时，为保证一定的缓冲区余量，可以在每个分配的缓冲区上增加 1-2 个数据包长度。

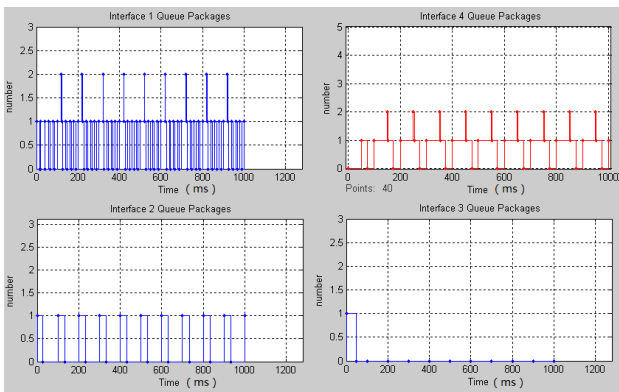


图 6 算法优化后仿真结果

表 1 接收缓冲区大小设定参考

接口序号	队列长度	数据帧长 (字节)	接收缓冲区队列长度 (字节)
1	4	150	600
2	1	160	160
3	1	100	100
4	1	140	140

2.4 系统裕度分析

在保持优先级方案和修改后的接口 2 消息处理延迟以及外部接口 1-4 的数据包大小不变的情况下,按照同样的比例同意修改外部接口数据的发送速率,再次运行仿真模型,查看处理器忙/闲状态情况.根据仿真结果,图 7 表示的是在单位时间内不同数据量下,信息处理设备的处理器使用效率的高低,同时也体现出信息处理设备在特定时段内裕度情况,从而方便设计者决策在哪个空白时段内为信息处理设备添加新的任务.

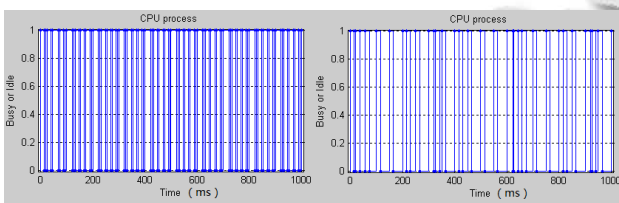


图 7 CPU 空闲、忙碌状态仿真

同时,根据各种数据包不同的处理特性,通过如

图 8 所示的仿真结果,可以看出各种数据包在单位时间内的处理数量,从而合理设计不同数据包的发送频率,并获得处理设备对于不同数据速率的适应能力,从而保证系统可稳定运行.

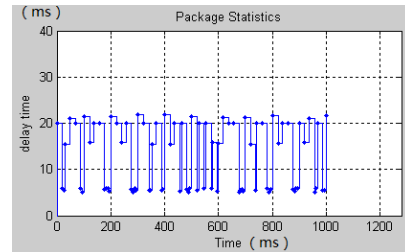


图 8 各数据包处理特性统计

3 结语

弹上信息处理设备作为导弹武器信息化的核心设备,在武器型号的研制中已经越来越多的承担起复杂多样的任务.基于离散事件仿真技术,可有效支撑消息处理时序优化、软件算法优化、存储空间优化、系统裕度分析等方面的仿真验证,可面向具体的任务,为最小裕度系统的方案设计和信息处理软件开发提供依据,满足导弹武器装备信息处理数据完整性和实时性方面的要求.

参考文献

- 1 张颖星.面向复杂系统应用的并行离散时间仿真性能优化技术研究[博士学位论文].长沙:国防科技大学,2011.
- 2 张耀程,李革,黄柯棣.并行离散事件仿真中的 DDM 机制实现.国防科技大学学报,2008,30(2):118-122.
- 3 顾启泰.离散事件系统建模与仿真.北京:清华大学出版社,1999.
- 4 伍志韬,黄宁,王学望,胡宁.基于随机型网络演算的 AFDX 端端时延分析方法.系统工程与电子技术,2013,35(1):168-172.
- 5 曹静静,汪峥.基于 Petri 网与 SimEvents 的半导体晶圆生产线模与仿真.工业控制计算,2007,20(12):42-44.