

【其他研究】

一种基于 HLA 的分布式仿真系统时间管理方法

罗玉华^{1,2}, 左 军¹, 李统乾¹, 徐 磊¹

(1. 防空兵指挥学院, 郑州 450052; 2. 江西预备役师高炮团, 南昌 330000)

摘要:为了研究和实现高层体系结构(HLA)时间管理这一核心接口在分布式仿真训练系统中的具体应用,本文从应用层角度出发,分析了基于 HLA/RTI 仿真系统设计中的时间管理机制。通过对高层体系结构时间管理服务内容和算法的研究,结合分布式仿真系统的实际特点,提出了时间管理策略、时间推进机制等接口内容的具体实现,对系统时间前瞻量的设置进行了深入分析。仿真时间推进结果表明,该时间管理策略、时间推进机制设计合理,完全达到预期效果。

关键词:高层体系结构;分布式仿真;时间管理

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2011)03-0109-03

高层体系结构(high level architecture, HLA)作为先进分布式仿真技术(advanced distributed simulation, ADS)的最新发展^[1],被用来构建仿真通用技术框架,支持不同仿真应用间的互操作和仿真部件的可重用。时间管理服务^[2]描述联邦运行过程中联邦成员时间推进的控制机制,实现联邦成员间仿真时间同步和推进,保证成员间数据交换和仿真时间的协调。HLA 中的时间管理服务必须和对象管理服务协调,以保证联邦成员发送和接收信息在时间逻辑上是正确的,时间管理是仿真成员间互操作的重要基础。

作为 HLA 的支撑体系,各个不同版本的 RTI 都很好地实现了上述各种不同的时间管理服务。但是对于应用层开发而言,不同的研究对象其所采用具体服务的侧重点不同。

1 相关工作

随着分布式交互仿真和高层体系结构的发展,各院校和研究所也相继展开了对分布交互仿真系统的研究,在仿真系统时间管理方面,赵锋等^[3]通过对高层体系结构时间管理服务内容和算法的研究,结合雷达电子战各仿真实体,尤其是相控阵雷达波束调度流程的实际特点,提出了时间管理策略、时间推进机制等接口内容的具体实现。李伟波等^[4]针对 RTI 技术在时间管理服务方面的特点和应用,探讨了使用保守时间推进机制的潜艇仿真时间管理的开发方法,并通过编程实现了仿真时间与墙钟时间的同步,保证了系统的真实性和可靠性。胡军等^[5]针对仿真驱动的潜艇实装作战仿真训练系统,结合 HLA 时间管理常见问题,从开发基于 HLA 仿真应用的角度分析了时间管理机制,重点研究了潜艇作战仿真训练系统中的推演时间管理方法。郑娟^[6]从开发基于 HLA 仿真应用的角度分析了时间管理机制,根据作战模拟系统的需要来实现成员的时间管理,使仿真时间按照希望的方式推进,阐述了在编程实现 HLA 时间管理时应注意的问题以及

其具体实现方法,为编程人员开发基于 HLA 的作战模拟系统提供了参考。以上文章从不同角度对特定仿真系统的时间管理进行了分析研究,但对实际系统时间管理研究针对性不够强,通用性不够好。本文在前人研究的基础上,对 HLA/RTI 时间管理服务内容和算法进行深入研究,对分布式仿真系统时间管理的需求进行深入分析,提出了特定的时间推进机制。

2 系统时间管理

时间管理服务主要由时间管理策略、消息传递机制、时间推进机制 3 部分组成。假设某仿真原型系统旨在基于 HLA/RTI、在局域网内构建一个满足特定仿真需求的分布式仿真环境。

2.1 时间管理策略

HLA 提供了一种透明的时钟管理服务来协调各联邦成员的逻辑仿真时间,使得各联邦成员不必了解其他联邦成员的时间推进方式。HLA 中联邦成员的时间管理策略分为 2 种:时间控制(timeregulating, TR)和时间受限(timeconstrained, TC),他们描述各联邦成员之间逻辑时间推进的关系,可细分为既时间控制又时间受限、既不时间控制又不时间受限、仅时间控制和仅时间受限 4 种状态。

仿真管理联邦成员和观察者联邦成员设置为仅“时间受限”,导演联邦成员设置为仅“时间控制”,而其他联邦成员设置为既“时间控制”又“时间受限”,如表 1 所示。

2.2 消息传递机制

消息传递机制包括消息传递方式和消息传递顺序两方面。消息传递方式可分为“可靠”(reliable)和“最佳”(best effort)两种;消息传递顺序可分为“接收顺序”、“优先级顺序”、“因果顺序”和“时戳顺序”4 类,目前 HLA 支持接收顺序(recv order, RO)和“时戳”顺序两种基本的消息传递顺

序。本系统所有成员的消息传递顺序均采用“时戳”(time stamp order, TSO)顺序;考虑到仿真的严密性,消息传递服务采用“可靠”传输方式。

表 1 联邦成员时间管理策略

联邦成员	是否“时间控制”	是否“时间受限”
仿真管理联邦成员	N	Y
导演联邦成员	Y	N
联邦成员 1	Y	Y
联邦成员 2	Y	Y
联邦成员 3	Y	Y
观察者联邦成员	N	Y

2.3 时间推进机制

2.3.1 联邦成员时间管理状态

系统中各联邦成员以循环的方式推进时间,在每个循环中,联邦成员请求推进他的时间,然后等待 RTI 的回调函数来批准这个推进请求。联邦成员的仿真时间在其发出推进请求时并不增加,直到 RTI 批准请求后才增加。批准时间推进的回调函数带有允许该联邦成员推进到的仿真时间值。图 1 给出了各联邦成员的时间管理状态。联邦成员开始处于时间批准状态,具有已知的仿真时间和前瞻量。联邦成员进行与当前仿真时间相关的仿真行为,RTI 确保不向该联邦成员发送时间戳小于其仿真时间的事件。该联邦成员能发送最小时间戳为其当前仿真时间与前瞻量之和的事件,联邦成员并不一定要以时间戳顺序发送这些事件。如果该联邦成员做好了推进时间的准备,他就调用 RTI 提供的时间推进服务中的一个来请求推进时间,并指定要推进到的时间值。

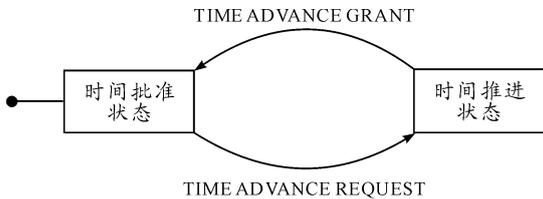


图 1 联邦成员时间管理状态

一旦请求推进时间,联邦成员进入时间推进状态。在该状态下,联邦成员的仿真时间并不改变,改变的是对他发送事件所带的时间戳的限制,该联邦成员可以发送的时间戳顺序(time stamp order, TSO)事件的最小时间戳变为其请求时间与前瞻量之和。该联邦成员开始接收 TSO 事件,TSO 事件以渐增的时间戳顺序分发给该联邦成员,直到 RTI 对该联邦成员调用回调函数 TIME ADVANCE GRANT,这个回调函数带有该联邦成员的新仿真时间。根据联邦成员先前所使用的时间推进服务,新的仿真时间可能比请求推进到的时间要小。回调函数一旦调用,仿真时间就推进到新的仿真时间,该联邦成员又进入了时间批准状态,新的循环开始了。

2.3.2 仿真时间推进过程

在某仿真系统联邦成员中,采用保守的步进时间推进机制,联邦成员按照某一固定的仿真时间间隔(步长)推进

时间。

步长通常根据仿真精度(或稳定性)来选定,只有与当前时间步长范围相关的所有仿真活动全部结束后,才能将时间推进到下一时间步长段。下面详细分析系统中“步进的时间推进”过程。假定某联邦成员按照固定的仿真时间间隔(步长) s 推进时间,且时间前置量(lookahead)等于仿真步长 s 。成员当前仿真时间为 t 时,通过时间推进请求服务(time advance request, TAR)请求 RTI 将仿真时间推进到 $(t+s)$ 时刻。此时,成员进入时间推进状态(TAR-TAG 阶段),该成员能产生的 TSO 事件的最小时间戳值迅速增大至 $t+lookahead$,即 $t+s$ 。RTI 接收到 TAR 请求后,确定不会再有小于时刻的 TSO 事件产生时,将释放该成员 RO 消息队列中所有 RO 消息,以及 TSO 消息队列中所有时间戳值小于或等于时刻 $t+s$ 的 TSO 消息。当成员接收到所有消息后,将收到时间推进许可(time advance grant, TAG),进入时间批准状态(TAG-TAR 阶段),此时仿真时间增加至 $t+s$ 。对于一个非“时间受限”成员来说,其时间推进不受任何控制,当他向 RTI 提出时间推进请求后,将立即在随后调用的 tick()服务中收到时间推进许可。当成员处于时间批准状态时,产生的 TSO 消息的最小时间戳值等于当前仿真时间与 lookahead 之和,且成员不能接收任何消息。当成员处于时间推进状态时,产生的 TSO 消息的最小时间戳值等于请求推进时间与 lookahead 之和。而且,墙上时钟时间(指客观世界中的自然时间)与仿真时间没有直接的联系。通常情况下系统运行过程中,成员每推进 1 个仿真步长(TAG-TAR-TAG 阶段)所消耗的墙上时钟时间是不同的。系统的步进时间推进过程如图 2 所示。

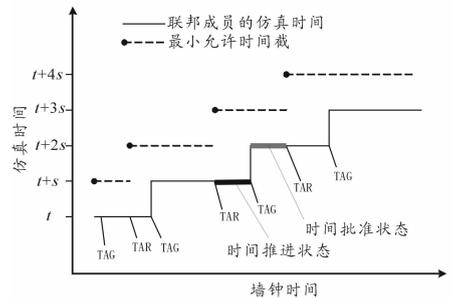


图 2 系统的步进时间推进过程

2.4 时间前瞻量(lookahead)设置

在保守时间推进机制中,“时间前瞻量(lookahead)”和“时戳下限(lower bound time stamp, LBTS)”是影响时间推进的 2 个关键变量。lookahead 的设置和调整将在仿真中起到重要作用,直接影响到仿真的效率和效果,而 IEEE1516 标准中并没有给出 lookahead 的设置和调整方法,一切均由用户来决定。由于仿真应用程序和运行平台的分离,研究 lookahead 的设置和调整对仿真系统的实现和性能优化具有重要意义。lookahead 相对于时间步长或消息时标尺度越大,联邦所能达到的并行程度就越高。lookahead 大小的选择与联邦成员仿真模型的细节密切相关,所以 RTI 不能为联邦成员决定 lookahead,lookahead 是联邦成员而不是联邦所具有的特性。HLA 仿真系统中 2 种不同消息的传输时间主要差别在于时标的同步。

从理论上讲,前置量越大,仿真系统运行的效率越高,更容易达到实时运行效果。然而在实际仿真系统中,前置量的选取同仿真模型紧密相关,特别在多种类型混合的仿真系统内,实际应用过程中,Fujimoto 对选择时间前瞻量的建议如下。

1) 仿真模型对外部事件的反应速度。如某个坦克仿真器对操作者的命令反应时间为 300 ms,那么该坦克成员的时间前瞻量即为 300 ms。

2) 仿真模型影响到另一模型的速度。假设用不同的联邦成员模拟计算机对数据包的传递和对该数据包的处理,1 台计算机发送数据包,另 1 台计算机接收并处理。数据包通过网络有一个最小的时间延迟,这个最小的时间延迟就可以作为模拟接收处理计算机的时间前瞻量。

3) 仿真推进的时间间隔的变化与否。在时间驱动的仿真中,仿真模型在当前时间步长内不可能安排事件,只能对下一步长(或是更后的步长)内的事件进行安排,所以前瞻量常常就是时间步长值。

3 仿真程序的实现和运行

基于文章第 1、2 节的研究分析,对系统联邦成员的时间管理服务进行了编码实现。其邦员仿真循环伪代码如下:

While(仿真不结束)

{

 计算联邦成员当前状态;

 调用“TIME ADVANCE REQUEST”服务,向 RTI 提供需
 传送的信息;

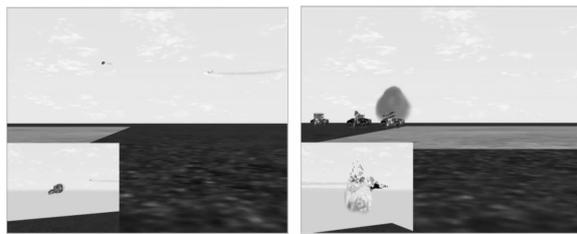
 接收所有外部事件;

 接收“TIME ADVANCE GRANT”服务;

 更新仿真时间,当前仿真时间为“当前时间 + 仿真步
 长”;

}

仿真运行结果如图 3 中(a)、(b)所示,他们分别为态势显示联邦成员在导弹拦截、击中目标时的仿真界面截图。



(a) 导弹拦截目标仿真界面

(b) 导弹击中目标仿真界面

图 3 系统仿真结果

4 结束语

时间管理是 HLA 要解决的关键问题。HLA 支持多种时间管理方式,各成员采用的时间管理机制相互透明,以利于各类仿真应用的交互操作。本文对基于 HLA 的分布式仿真系统的时间管理服务进行了研究,给出了仿真结果,达到了仿真需求。

参考文献:

- [1] 郭齐胜,张伟,杨立功,等. 分布交互仿真及其军事应用[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
- [2] 周彦,戴剑伟. HLA 仿真程序设计[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [3] 赵锋,王雪松,肖顺平. 雷达电子战系统分布式仿真时间管理研究[J]. 计算机仿真,2007,24(1):127-130.
- [4] 李伟波,史扬,刘剑. 基于 HLA 的潜艇仿真时间管理研究[J]. 计算机仿真,2007,24(9):104-107.
- [5] 胡军,李桂岩. 基于 HLA 的潜艇作战仿真系统时间管理研究[J]. 计算机工程与设计,2008,29(16):4299-4301.
- [6] 郑娟. 基于 HLA 作战模拟系统的时间管理研究[J]. 装备指挥技术学院学报,2005,16(3):26-30.
- [7] 夏丰领,赵育善. 基于 HLA 的地空导弹仿真系统设计[J]. 系统仿真学报,2007,19(2):296-299.

(责任编辑 周江川)

(上接第 100 页)

疲劳寿命实验表明,改进后的结构强度和寿命满足要求,工作性能安全可靠。

4 结束语

本文对某型设备支架断裂故障进行了分析,经过耐久振动计算和试验,确定了支架断裂的原因是振动环境下支架局部峰值应力超过材料的屈服强度,结构低周疲劳产生的破坏。然后有针对性地提出了材料和结构改进方案,综合整体传力线路的改进,给出了最终优化方案。对最终方案的强度和疲劳寿命的计算以及相应的实验表明,改进后结构的强度和寿命完全符合定型产品要求,重量和空间尺寸也完全满足

产品要求。本改进设计方法对同类设备结构优化具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 陆明炯. 实用机械工程材料手册[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2002.
- [2] 黄作宾. 断裂力学[M]. 北京:中国地址大学出版社,1991.
- [3] 干光瑜,秦惠民. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [4] 姚卫星. 结构疲劳寿命分析[M]. 北京:国防工业出版社,2003.

(责任编辑 周江川)