

基于 HLA 的分布式仿真中负载平衡的研究

王 琼, 艾丽蓉, 龚爱珍

(西北工业大学 计算机学院, 陕西 西安 710072)

摘 要:随着基于 HLA 的分布式仿真实现技术的日益成熟,对于仿真的效率和精确性的要求也越来越高。大规模的分布式仿真中,负载平衡成为影响仿真效率和正确性的关键问题,然而 HLA 本身并未提供负载平衡机制。在对负载平衡问题和 HLA 深入研究的基础上,在 HLA 中实现了负载平衡机制,使用计算机性能的评价参数 CPU 占有率和内存使用率作为评估标准,以确定进行负载迁移的对象。最后通过实验证明,该机制能有效地平衡仿真系统中各节点之间的负载,从而验证了该机制的有效性。

关键词:HLA;分布式仿真;负载平衡

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)06-0119-03

Study on Load Balancing in HLA-Based Distributed Simulation System

WANG Qiong, AI Li-rong, GONG Ai-zhen

(Dept. of Computer, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: As the implementation technology of the distributed simulation is becoming maturer, the requirements of simulation efficiency and precision are also becoming higher. In the large scale distributed simulation, the performance of load balancing becomes the key problem affecting the efficiency and the correctness of the simulation, however, the HLA standard never referred to this load balancing framework. Based on in-depth study of load balancing problem and HLA standard, embed the load balancing in the HLA, and the evaluation criteria is percentage of CPU and memory utilization which are evaluation parameters of computer. The realization method looks up the object which should be transferred. Finally, an experiment testifies that this mechanism can make a balance among the nodes of the simulation system effectively. Through this way, the new mechanism is a validity method.

Key words: HLA; distributed simulation; load balancing

0 引 言

1995年10月,美国国防建模与仿真办公室(DM-SO)在建模与仿真主计划(MSMP)中提出了未来建模/仿真的技术框架。而高层体系结构(HLA)是该框架的重要组成部分之一。HLA的提出是基于分布交互仿真(DIS)的技术背景和仿真领域发展的需求背景。其目标是实现分布式仿真中仿真组件间的互操作性和仿真组件的可重用性^[1]。

分布式仿真是通过网络技术将分散配置的仿真软件、硬件及仿真环境组合成一个大的时空相一致的共同仿真环境,并实现各仿真组件之间的互操作,共同完

成仿真任务^[2]。基于HLA的分布式仿真系统的开发实现了多个仿真应用的组合操作实现,但系统的负载平衡问题却是不得不面对的一个主要问题。因此,在HLA的实现中加入负载平衡机制,从而保证使得基于HLA实现的系统各节点能稳定地持续运行。文中在深入分析负载平衡问题和HLA的基础上,实现了负载平衡机制,完善了HLA的基本功能。

1 HLA与负载平衡

1.1 HLA简介

HLA是一个通用的仿真技术框架,它定义了构成分布交互仿真各部分的功能和相互关系。HLA中为实现某种特定仿真目的的仿真系统称为联邦(Federation)。联邦由联邦对象模型、若干联邦成员和运行时间支撑系统RTI(Run-Time Infrastructure)构成。联邦成员可以是真实实体仿真系统、构造或虚拟仿真系统以及一些辅助性的仿真应用,如联邦运行管理控制器、

收稿日期:2010-12-09;修回日期:2011-03-19

基金项目:国家自然科学基金(60273087);陕西省自然科学基金(SJ08F25);西北工业大学基础研究基金(W018101)

作者简介:王 琼(1985-),女,硕士生,研究方向为人工智能与计算机理论;艾丽蓉,副教授,研究方向为软件工程、信息安全与智能信息处理。

数据收集器等。

HLA 分布式标准主要包括三部分内容^[1]:规则、对象模型模板 OMT(Object Model Template)和接口规范说明 IFSpec(Interface Specification)。规则主要描述了为确保仿真交互的正确执行,联邦和联邦成员必须满足的要求。OMT 用来描述对象模型,包括两部分,FOM 和 SOM,分别描述在联邦执行过程中成员可以共享的信息和仿真成员在参与联邦运行时所能提供的能力。IFSpec 是对 HLA 的运行时间支撑系统 RTI 的接口规范描述。

1.2 负载均衡简介

为了实现和充分发挥分布式仿真的优点,优良的资源分配方案尤为重要。负载分配是分布式系统的最佳管理模块,表现为负载均衡,它主要是合理和透明地在处理器之间重新动态地分配系统负载,以达到系统的综合性能最优。负载分配的目的是提高节点 CPU 的利用率和缩短平均响应时间。

在基于 HLA 的分布式仿真实现中,负载均衡机制的实现面临的主要问题:运行中的联邦成员的精确迁移,并且该迁移不影响联邦整体的运行效率和准确度;在联邦成员迁移过程中,被迁移联邦成员的运行状态的保存和恢复。

目前已有多种针对基于 HLA 的分布式仿真负载均衡问题的解决方法^[3-5],多为基于组件的联邦成员状态转移,并且在联邦转移过程中停止了联邦的运行。这样的机制无疑引进了额外的开销和影响了联邦的运行效率。

2 负载均衡机制的实现

解决负载的不平衡问题,通常采用进程迁移技术,即进程从过载节点迁移到比较空闲的节点,在 HLA 仿真中,体现为联邦成员实体的迁移^[6],主要是合理和透明地在各节点之间重新分配系统负载,以达到仿真系统的综合性能最优^[7]。如图 1 所示,负载均衡机制采用层次式体系结构,以减小该机制自身对资源的占用率。其中,负载监视器是整个系统运行的基础,负责监控各个仿真节点中资源利用情况,并检测出哪些节点

是过载节点、适载节点和轻载节点。群管理器接收负载监视器的判断结果,进行联邦迁移决策,然后触发联邦迁移器完成具体迁移任务。

2.1 群管理器

在基于 HLA 的分布式仿真中,群管理器管理整个联邦及其所使用的资源,在分布式仿真中起着很重要的作用。在负载均衡机制中,它从整体上协调和管理着负载监视,重新分配和联邦成员迁移各个阶段的工作。

群管理器接收负载监视器的判断结果,最终决定是否需要进行联邦成员迁移,以及确定迁移路径。群管理器进行决策的基本原则是尽量使各个节点的负载趋于平衡。群管理器的工作原理如下:

当群管理器接收到负载监视器发送的监视结果后,对于过载节点,立即发出迁移请求,若该群管理器内有处于轻载状态的节点,则执行联邦成员迁移工作,若不存在轻载的节点,则该群管理器向上层群管理器发送迁移请求,从其他群管理器中寻找轻载节点,完成迁移。

2.2 负载监视器

在分布式仿真中,影响节点运行效率的负载主要有 CPU 利用率、内存使用率和网络使用情况^[8]。文中,负载监视器主要将 CPU 利用率和内存使用率作为监视对象,对于网络过载,可单独触发联邦迁移。负载监视器将监测到的数据根据公式(1)进行处理,得到该仿真节点的负载值 L_i ^[9,10],其中, l_1 和 l_2 分别表示 CPU 利用率和内存利用率, q_1 和 q_2 分别表示 CPU 利用率和内存利用率的函数表达式。由于不同的仿真对 CPU 和内存利用的需求量不同,该函数应根据实际情况选取不同的函数实现。 L 的值越小,就说明节点的利用率越高,由此该节点需要迁移的可能性就越大。负载阈值用 ThresholdMin 和 ThresholdMax 表示,当 L 值大于 ThresholdMax 时,该节点为过载节点,需要迁出联邦;小于 ThresholdMin 时,为轻载节点,可以迁入联邦;介于 ThresholdMin 和 ThresholdMax 之间时,为适载节点,既不迁出也不迁入。

$$L = q_1 * l_1 + q_2 * l_2 \quad (1)$$

2.3 联邦成员迁移器

在 HLA 仿真中,若干个联邦成员构成联邦,联邦成员也是为实现负载均衡要迁移的对象。在群管理器确定迁移进行的源节点和目标节点后,联邦成员迁移的具体工作由源节点和目标节点上的联邦迁移器共同协作完成^[11]。

在基于 HLA 的负载均衡机制中,联邦成员迁移器由联邦成员监视器 fedMonitor 和联邦成员服务器 fed-Server 两部分组成。每个联邦成员都有一个 fedMoni-

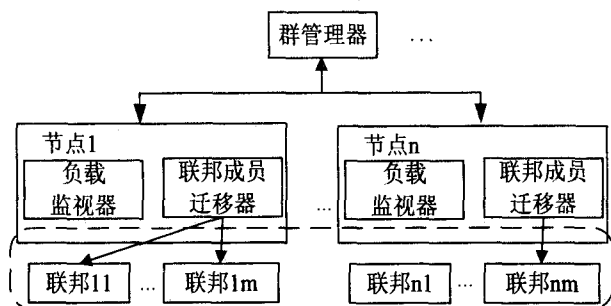


图 1 负载均衡机制体系结构

tor, 主要用来控制联邦成员的执行, fedServer 存在于仿真中的每一个节点上, 用于联邦成员迁移时。

联邦成员迁移器的工作过程为:

- 1) 源节点联邦迁移器中 fedMonitor 启动一个线程连接目标节点联邦迁移器中的 fedServer;
- 2) 将需要迁移的联邦成员的相关文件, 传递给目标节点, 此时该联邦成员仍然正常运行;
- 3) 在目标节点上, fedServer 执行以下操作: 新联邦成员加入、新联邦成员发布需求和订购所需要信息、请求源节点上被迁移联邦成员的运行状态信息;
- 4) 源节点接收到请求后, 将运行状态写入文件并发送给请求节点;
- 5) 目标节点上, 新联邦成员恢复运行状态, 并返回一个消息表示它已经接收到这个文件;
- 6) 新旧联邦成员间实现所有权转移;
- 7) 销毁旧联邦成员, 同时, 新联邦成员进入联邦循环中。

其中, 新联邦成员的加入、旧联邦成员的销毁和所有权转移的任务, 可以综合利用 HLA/RTI 提供的声明管理、对象管理和所有权管理等功能辅助完成^[12,13]。

在联邦成员迁移过程中, 只有在目标节点中新联邦成员发布了订购需求后才能从源节点请求联邦成员的运行状态信息。源节点中被迁移联邦成员在迁移过程中只接收信息但并不处理。这样, 在转移联邦状态的过程中, 不会丢失任何联邦成员的信息。然而, 在新的节点中恢复执行状态的时候, 任何信息的副本都必须被删除。此外, 也必须正确处理任何在旧的联邦下已经处理过的信息。因此如果新的联邦中接收的执行状态的信息比从旧的联邦中接收的最老的(首次未进行处理的信息)信息还老, 就删除这条信息。通过比较执行状态的信息和自从加入联邦后所收到的信息来实现这一点。

联邦成员内部结构信息复杂, 任何一个成员对象均由很多代码组成并在联邦执行的任何时刻它们有更多的执行状态, 联邦成员迁移过程中状态保存机制需要进一步地研究以确保迁移前后联邦执行的连续性和精确性。

3 实验及结果

使用自行设计的分布式仿真系统来验证文中提出的负载均衡算法的有效性。该仿真系统包括了仿真控制管理器邦元、数据记录与回放邦元、场景显示邦元、动力学子系统邦元、液压子系统邦元、控制子系统邦元和半实物仿真子系统邦元七个联邦成员, 仿真环境为同一局域网中的七台主机。为简单说明起见, 邦元节点分别用 F1 ~ F7 来表示。由仿真控制管理器邦元即

F1 节点创建联邦, 负载均衡前, 由 F1 节点运行七个联邦成员, 负载均衡后每个节点运行一个联邦成员。

由 F1 邦元创建联邦。启动 F1, 并创建联邦。在 F1 邦元主机上运行剧情模拟器, F2, F3 等邦元主机节点逐个加入联邦。由 HLA 中负载均衡机制的实现原理, 可以得出: 随着仿真的运行, F1 节点的负载监视器将会在某一时刻得出该邦元节点是重载节点, 并发送迁移请求信息, 负载均衡机制则会将负载迁移到空闲节点主机或轻载节点主机上, 在该实验中负载将会被迁移到空闲节点主机上。该实验数据如表 1 和表 2 所示。

表 1 负载均衡前 F1 邦元主机的
CPU 占有率和内存使用率

邦元个数 使用率	1	2	3	4	5	6	7
CPU (%)	5	13	20	33	40	66	84
内存 (%)	6	8	14	25	40	45	68

表 2 负载均衡后 F1 邦元主机的
CPU 占有率内存使用率

邦元个数 使用率	7	6	5	4	3	2	1
CPU (%)	77	68	60	40	26	19	7
内存 (%)	79	60	46	32	19	16	10

从表中数据可以看出, 平衡前, 随着仿真的运行, CPU 和内存占有率逐渐增加, 负载均衡机制作用后, 原重载邦元节点的 CPU 和内存占有率逐渐下降, 直至当节点上仅有一个邦元运行时, 其 CPU 占有率稳定在 7% 左右, 内存使用率稳定在 10% 左右。由此表明, 在 HLA 中实现负载均衡机制能在一定程度上确保了各仿真应用节点的负载处于均衡状态, 使得仿真运行更加精确, 从而提高了系统性能。

4 结束语

在分布式仿真系统中, 各节点之间负载不平衡的情况严重地影响了各节点的处理能力, 从而使整个仿真运行的实时性、真实性降低。通过在 HLA 中实现负载均衡机制, 重新分配负载, 保证节点的处理能力处于良好状态从而提高了系统的实时性和真实性, 具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 周 彦, 戴剑伟. HLA 仿真程序设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [2] 童 军, 李伯虎, 惠天舒, 等. 高级体系结构 (HLA) 和新一代的分布交互仿真[J]. 系统仿真学报, 1998, 10(2): 1-6.
- [3] Cai Wentong, Stephen J T, Zhao Hanfeng. A Load Manage-

(下转第 144 页)

性主要体现在以下几方面:

(1)在现有故障注入技术条件下,攻击者在地面端系统更易实现故障成功注入。

(2)卫星节点计算资源有限,在节点会话建立后,一般采用执行效率较高的对称加密算法进行会话信息加密。会话密钥在密钥更新周期内保持不变,攻击者可在会话密钥更新周期内完成攻击。

(3)在卫星网络开放环境下,攻击者利用间谍卫星节点能够获取加密过程中的密文信息,为加密算法的攻击提供了可靠的数据源。

(4)随着差分故障攻击技术的不断发展,攻击者利用较少的攻击样本即可实现对加密算法的攻击,攻击效率大大提高,确保在卫星节点会话密钥更新周期内完成攻击。

5 结束语

研究了现有加密算法的主要攻击手段,分析了加密算法在卫星网络中实现安全性。结合卫星网络自身特点和加密算法攻击技术,对卫星节点及地面端系统的加密算法抗攻击能力进行了分析研究。在此基础上,设计了针对卫星网络加密算法的差分故障攻击模型,并对模型的合理性进行了说明。文中提出的卫星网络加密算法攻击模型,为在地面网络环境中构建卫星网络加密算法攻击仿真平台提供了一定思路。

参考文献:

[1] Biehl I, Meyer B, Muller V. Differential fault analysis on elliptic curve cryptosystems[C]//CRYPTO 2000. [s. l.]:Spring-

er, 2000:131-146.

- [2] Hemme L. A differential fault attack against early rounds of (Triple-) DES[C]//CHES 2004. [s. l.]:Springer, 2004: 254-267.
- [3] Piret G, Quisquater J J. A Differential Fault Attack Technique against SPN Structures, with Application to the AES and Khazad[C]//CHES 2003. [s. l.]:Springer, 2003: 77-88.
- [4] Li Wei, Gu Dawu, Li Juanru. Differential fault analysis on the ARIA algorithm[J]. Information Sciences, 2008, 178(19):3727-3737.
- [5] Zhao Xinjie, Wang Tao. An Improved Differential Fault Attack on Camellia[EB/OL]. 2009. <http://eprint.iacr.org/2009/585>.
- [6] Zhang Lei, Wu Wenling. Differential fault analysis on SMS4[J]. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(9): 2596-2602.
- [7] Hoch J J, Shamir A. Fault analysis of stream ciphers[C]//CHES 2004. [s. l.]:Springer, 2004: 240-253.
- [8] Hojsik M, Rudolf B. Floating fault analysis of Trivium[C]//INDOCRYPT 2008. [s. l.]:Springer, 2008: 239-250.
- [9] 陈浩, 谢永春, 安红章. 星座系统安全防护技术研究[C]//保密通信与信息安全现状研讨会论文集. 出版地不详; 出版者不详, 2007:124-129.
- [10] Kocher P, Jaffe J, Jun B. Differential power analysis[C]//CRYPTO '99. [s. l.]:[s. n.], 1999:388-397.
- [11] Kim C, Schlaffer M, Moon S. Differential Side Channel Analysis Attacks on FPGA Implementations of ARIA[J]. ETRI Journal, 2008, 30(2): 315-325.
- [12] Carlier V, Chabanne H, Dottax E, et al. Electromagnetic side channels of an FPGA implementation of AES[EB/OL]. 2004. <http://eprint.iacr.org/>.

(上接第 121 页)

- ment System for Running HLA-based Simulation over the Grid [C]//Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications. USA: IEEE Computer Society Press, 2002.
- [4] Yuan Zijong, Cai W, Low M Y H. Federate Migration in HLA-based Distributed Simulation[C]//Proceeding of International Conference on Computational Science. Poland: LNCS, 2004.
 - [5] Martin E, Magnus S, Moradi F, et al. Peer-to-Peer-Based Resource Management in Support of HLA-Based Distributed Simulations[J]. Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation(S0037-5497), 2004, 80(4): 181-190.
 - [6] 刘晓建, 钟海荣, 金士尧. 大规模联邦仿真中实体迁移及其时间同步研究(一)——实体迁移协议与实现[J]. 计算机研究与发展, 2005(4): 711-715.
 - [7] 李文, 王壮, 胡卫东. 基于 HLA 分布式仿真系统中的负载均衡问题[J]. 计算机仿真, 2004(12): 124-127.

- [8] 孟小锋, 慕晓强, 高洪奎. 分布式仿真中的负载平衡技术[J]. 现代计算机, 2001(5): 14-17.
- [9] 胡小梅, 翟正军. 协同虚拟环境中的主动动态负载平衡算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(20): 104-106.
- [10] 蒋翠清, 杨善林, 黄梯云, 等. 基于 Agent 的动态负载均衡技术及仿真实现[J]. 微电子学与计算机, 2005(10): 47-50.
- [11] Tan G, Persson A, Ayani R. HLA federate migration[C]//Proceedings of the 38th Annual Simulation Symposium. [s. l.]:[s. n.], 2005.
- [12] IEEE. IEEE Std 1516-2000, IEEE standard for modeling and simulation(M&S) high level architecture(HLA) frame-work and rules[S]. Washington, D. C., USA: IEEE, 2000.
- [13] IEEE. IEEE Std 1516-2000, IEEE standard for modeling and simulation(M&S) high level architecture(HLA) federate interface specification[S]. Los Alamitos, Cal., USA: IEEE Computer Society, 2003.