

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

刘晓建 钟海荣 金士尧

(国防科学技术大学计算机学院并行与分布处理国家重点实验室 长沙 410073)

(aleck_liu@163.com)

Migrating Entities and Their Time Synchronization Issue in Large-Scale Federated Simulation (Part One): Protocol and Implementation for Migrating Entities

Liu Xiaojian, Zhong Hairong, and Jin Shiyao

(PDL National Laboratory, School of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract Entity migration can help to sustain large scale, long running distributed simulations. The shortcomings of the high level architecture (HLA), when dealing with this issue, are presented, and the ad hoc approaches for an HLA-compliant federate to move entities are analyzed. A protocol used to move entities under HLA/RTI is introduced, then its implementation issues are thoroughly discussed, including the starting of the migration, the entity state transfer mechanism, the message relaying and processing logic. The executing framework of the protocol is also presented. Experiments prove the feasibility of this protocol. Compared with relative studies, this approach can avoid missing messages during migration, and guarantee the correct message process sequence.

Key words entity-migration protocol; time synchronization; distributed simulation; high level architecture

摘 要 实体迁移技术有利于改善大规模分布式仿真系统的性能。首先分析了新一代仿真体系结构 HLA/RTI 对实体迁移支持上的不足和现有 HLA 兼容型仿真系统中实体迁移实现方法的缺陷,然后提出了在 HLA/RTI 下进行实体迁移的协议,设计了实体最新状态传输机制、迁移启动机制、迁移期间的消息转发、处理机制等,给出了协议的执行过程和支持实体迁移的仿真应用程序的实现框架,最后测试了协议的正确性。与相关研究相比,迁移协议解决了迁移过程中时间同步问题,不会丢失消息,且能保证 TSO 消息按时戳序处理。

关键词 实体迁移协议;时间同步;分布式仿真;高层体系结构

中图法分类号 TP391.9

1 引 言

在大规模分布仿真系统(也称联邦,federation)的长时间运行中,由于系统的复杂性、信息流关系的动态性、资源的不可控性,仿真运行前确定的最佳实体分配逐渐不能很好地符合运行时的实际情况。因

此有必要通过迁移实体来适应网络通信、主机负载、实体兴趣等变化,实现系统的动态负载平衡、增强数据访问的局部性、容错和资源共享等,改善仿真性能^[1~3]。实体迁移主要涉及迁移决策系统的设计^[3]和实体迁移实现。鉴于高层体系结构(high level architecture,HLA)^[4]已成为分布式仿真领域的主流,为此,本文研究了 HLA/RTI 框架中的实体迁移

实现,文献[5]研究了实体迁移中的时间同步问题.

2 研究现状

当前 HLA 规范并未明确支持实体迁移,但是可以通过迁移属性所有权来实现实体状态迁移:可将 HLA/RTI 下的“实体迁移”等效为“包括 privilege-ToDeleteObject 属性在内的属性所有权转移”.但 HLA 规范关于所有权转移的支持过于粗糙,不能转移非公有属性,也不便控制转移的目的地等[6].

目前在 HLA/RTI 下的实体迁移实现方式[6~10]存在的缺陷为:①迁移协议理解不自然.接收属性的邦元必须为获得属性所有权而订购同一属性,以获得该属性当前值.②仅适用于迁移期间“不活跃”(对外没有通信关系)的实体,否则不能解决迁移期间的同步问题[5].③需调整属性传输方式.通常用尽力传输机制(如 UDP)来传递属性值,但在所有权转移时需暂时使用可靠传输方式(如 TCP).当多个邦元对该属性感兴趣时,需调整的通信关系会很多.

本文和文献[5]针对上述缺陷展开研究.

3 HLA/RTI 下实体迁移的实现策略

3.1 新旧邦元及其状态变迁

记被迁移的实体为 O_t ,称欲迁出 O_t 的邦元为旧邦元 F_o ,欲迁入 O_t 的邦元为新邦元 F_n ,拥有 O_t 所关心信息的邦元为源邦元 F_s ,接收 O_t 信息的邦元为宿邦元 F_d .为避免迁移期间新旧邦元逻辑时间不一致,假定 F_n 为因实体迁移而新创建的邦元,且只包含一个实体, F_n 和 F_o 的时间推进方式、有关 O_t 的应用逻辑相同[5].图 1 以 Petri 网形式描述了 F_o 和 F_n 在实体迁移期间的状态变迁图.在迁移过程中, F_o 可简化为正常运行态、转发态、转发结束态和迁移完成态 4 种可能状态; F_n 可简化为未初始化态、迁入态、迁入延迟态和正常运行态 4 种可能状态. $e_1 \sim e_8$ 分别为迁移协议中涉及的事件,其中 e_3 为 F_o 内部事件,代表转发时钟超时; e_9 为 F_n 内部事件,表示转发消息处理结束[5].

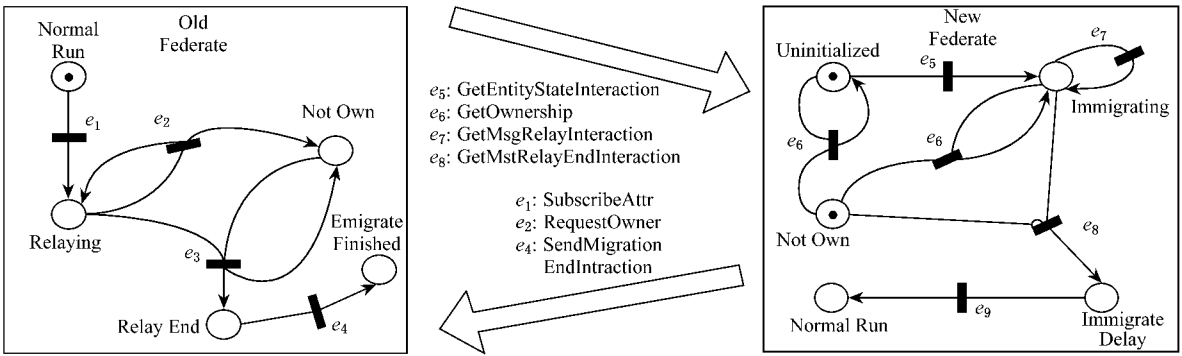


Fig. 1 Federate state transit graph.

图 1 邦元状态变迁图

3.2 实体最新状态的传输机制

与已往研究中通过 update/reflect 传输属性值的方法不同,本文采用基于区域的交互(interaction)参数来传输实体状态,解决了非公有属性值的传输问题,并由仿真开发人员负责提取实体状态信息.其过程如下:

(1)在 RTI 初始化 RID 文件中定义实体迁移路径空间,邦元亦在 FED 文件中声明使用此空间.令待转移对象 O_t 的标识代表该空间中的点.

(2)邦元定义一个迁移命令交互类
交互类中的参数包含“实体状态”、“转发消息”、“转发消息结束”、“迁移成功”等迁移命令和该命令所携带转发的消息.

(3)以 O_t 的标识为区域, F_o 发布交互类,实体

迁入邦元(这里为 F_n)订购交互类.

(4) F_o 和 F_n 通过发送和接收迁移命令交互来传递信息.

与已往实现相比,此种实体属性值传送方式更自然,且不需改变信息传输方式.由于采用了实体迁移路径空间,当不需要进行迁移时, F_o 虽然发布了该属性值,但因无邦元订购,故不会在网络上实际传输属性值,从而不会造成冗余信息的传播;在需进行实体迁移时,HLA/RTI 的 DDM 管理保证了只有在该实体迁移路径空间中订购了此属性的邦元 F_n 才能接收到该实体的完整状态信息.

3.3 属性所有权转移模式

若使用推模式,迁移决策系统[3]需将迁移请求的处理结果返回,并通过某种机制通知 F_o .启动迁

移过程;而在拉模式中,当 F_n 启动时开始所有权转移,因简单而被采用。

F_n 使用拉模式请求获得属性所有权时,须知道当前拥有该属性的实体.若依靠启动 F_n 时传递该实体的标识符,却不能满足要求:因为 F_n 端 LRC (local RTI component) 并不知道该实体的存在.故实体迁移的第 1 步应是发现该实体,也通过基于区域的类属性订购机制来实现,其过程如下:

(1) 为每个支持迁移的对象类设计发布属性 *TRIGGER* :

(2) F_0 在注册实体后,在实体迁移路径空间中该实体对应的区域内发布此属性;

(3) F_0 调用 RTI 相关服务,使其在有邦元订购它的信息时能获得通知;

(4) F_n 根据启动参数,订购实体迁移路径空间中指定区域的相关类属性 *TRIGGER* ;启动迁移;

(5) F_n 收到 *DiscoverObjectInstance* 后,调用 *AttributeOwnershipAcquisition*;

(6) F_0 收到 *TurnUpdatesOnForObjectInstance* 发送“实体状态”交互.

(7) F_0 收到 *RequestAttributeOwnershipRelease*, 交出属性所有权.

其中步骤(6)和(7)的执行次序可能不同.

3.4 旧邦元的消息转发及新邦元的消息处理

为使 F_n 能正常工作, F_o 必须把迁移期间 F_n 应接收、但可能没收到的消息转发给它, 定义此时 F_o 处于转发态。转发的方法为 F_o 在响应 *reflectAttributeValues* 或 *receiveInteraction* 回调函数时, 将函数的参数作为 *TransferOwnership* 交互类的 *Message* 参数的一部分, 向 F_n 发送“转发消息”交互; *TimeAdvanceGrant* 回调函数将导致时钟推进消息

的转发。“转发消息”交互的接收方式为 RO 型(接收序),因 F_n 已实现允许异步提交消息,故消息能马上提交给 F_n 而不被缓存在 F_n 端的 LRC 内部。通过设置超时时钟 TIMER,以决定 F_o 何时停止转发,并进入转发结束态^[5]。

F_n 在完成实体的初始化和相关兴趣声明后,就可直接收到 F_s 的消息;同时,在 F_o 的转发时钟没有超时前, F_o 还有可能向 F_n 转发消息. 因此 F_n 在实体迁入期间存在两类输入源,收到的消息可能会重复,为此采取了重复消息的监测机制,以保证消息“只处理一次”^[5]. 为了保证 TSO 消息按时戳序处理, F_n 在迁入态仅处理转发来的消息,在迁入延迟态处理所有直接收到的 RO 型消息,并以时戳序处理当前转发消息队列和直接消息队列中时戳小于当前 LBTS (lower bound on time-stamp) 的 TSO 型消息. 同时,本协议也可以撤销转发给 F_n 的消息,以支持乐观时间推进型邦元^[5].

由于目前的 RTI 实现中均未对实体迁移提供明确支持,且一般未公开源码,故我们无法修改 RTI,只能修改邦元程序部分来满足要求。图 2 的虚框部分为新邦元 F_n 接收消息机制示意图,其中阴影部分为普通的邦元代理,虚框内的其他部分是新增的控制逻辑,负责实现实体迁入协议。根据邦元的运行状态,消息分类器把从本地 RTI 部件收到的消息直接提交给普通的邦元代理或放入消息队列管理器,根据邦元的 LBTS 和运行状态,控制从消息队列管理器中选取消息提交给邦元处理。邦元也可修改其运行状态。

本协议假定了同一条可靠链路传输的报文满足 FIFO 性质, 目前的 RTI 实现都满足此性质.

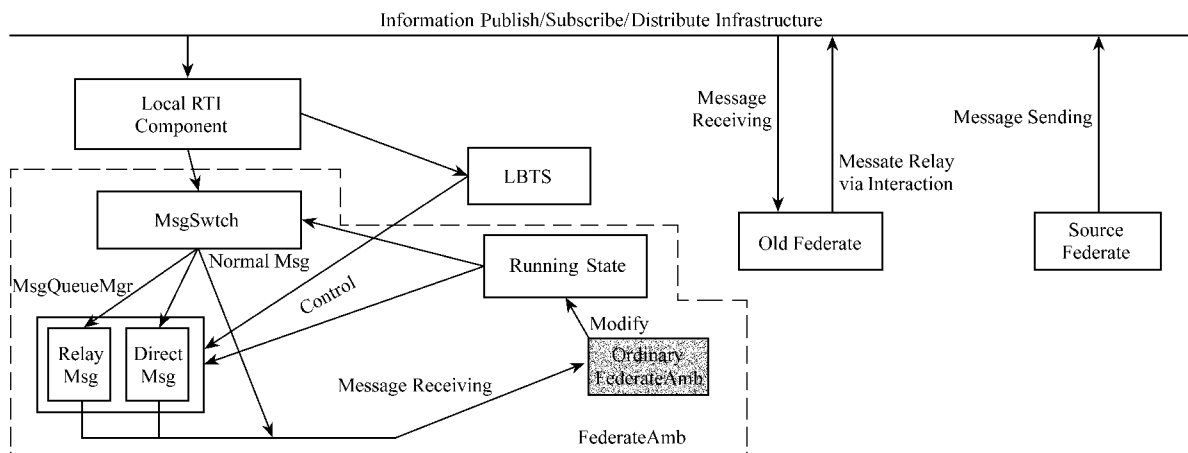


Fig. 2 Message receiving structure for new federate.

图2 新邦元的消息接收

3.5 在 HLA/RTI 下实体迁移的实现框架

基于上述策略,设计了在 HLA/RTI 下支持实体迁移的仿真邦元程序的实现框架^[11]. 在该框架中,协议在仿真应用层实现,便于在大多数不支持实体迁移的 RTI 中实现实体迁移.

4 实体迁移协议的验证

为验证协议的正确性,在 RTI 1.3-NG^[12]上进行了测试. 首先启动 F_s , F_o 和 F_d 三个邦元进程,都以每秒 30 帧的速率运行. F_s 对外发送交互类 HI, 其参数 seq 指示当前已发送的 HI 交互个数; F_o 注册一个 Receiver 对象 $recv$, 它订购 HI 交互类, Receiver 类发布属性 $Times$, 记录目前为止已处理过的 HI 交互的最大 seq ; F_d 订购 Receiver 类对象的 $Times$ 属性,并将每次收到的属性更新值写入日志文件. 在 F_s , F_o 和 F_d 运行一段时间后,启动邦元 F_n , 进行协议相关动作. 其中,在 F_n 获得 $recv$ 的所有权后,经过 100 ms 才订购交互类 HI(模拟网络延迟); F_o 的转发超时时钟的设置 200 ms; F_o 在收到迁移完成后马上退出仿真, F_n 则延迟 100 ms 退出仿真.

迁移完成后,查看 F_d 的日志文件可发现:① F_o 退出仿真并不影响 F_d 继续接收来自 $recv$ 的属性更新报文,从而证明使用本协议可以将实体 $recv$ 迁移到 F_n ; ② F_d 收到的 $recv$ 属性值是连续的,从而证明迁移不会丢失消息.

5 结 论

针对当前 HLA 规范及现有研究的不足,本文研究了在 HLA/RTI 下实体迁移协议及其实现策略,解决了实体最新状态传输、迁移启动与顺序、迁移期间的消息转发与处理等问题,给出了支持实体迁移的仿真应用程序的一般流程和邦元代理对输入消息的处理模式,最后测试了协议的正确性. 与相关研究相比,本迁移实现技术具有对用户透明、易用的优点,并较好地解决了迁移过程中时间同步问题(详见文献[5]).

参 考 文 献

1 K. L. Morse, Dannie E. Cutts, *et al.* Feasibility and functionality of autonomous objects in the HLA. The 1997 Spring

- Simulation Interoperability Workshop, Orlando, FL, 1997
- 2 D. S. Milojicic, F. Douglass, Y. Paindaveine, *et al.* Process migration. ACM Computing Surveys, 2000, 32(3): 241~299
- 3 Liu Xiaojian, Zhong Hairong, Jin Shiyao. Migrating entities to improve real-time performance in large scale distributed interactive simulations. Journal of Computer Research and Development, 2004, 41(8): 1430~1435 (in Chinese)
- (刘晓建, 钟海荣, 金士尧. 面向实时感知性能的分布式交互仿真实体迁移技术. 计算机研究与发展, 2004, 41(8): 1430~1435)
- 4 Simulation Interoperability Standards Committee (SISC) of the IEEE Computer Society. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)—IEEE Std 1516-2000, 1516.1-2000, 1516.2-2000. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2000
- 5 Zhong Hairong, Liu Xiaojian, Jin Shiyao. Migrating entities and their time synchronization issue in large-scale federated simulation (part two): Time synchronization for migrating entities. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(4): 716~720 (in Chinese)
- (钟海荣, 刘晓建, 金士尧. 大规模联邦仿真中实体迁移及其时间同步研究(二)——实体迁移中的时间同步. 计算机研究与发展, 2005, 42(4): 716~720)
- 6 M. D. Myjak, S. T. Sharp. Object transfer in HLA. The 1999 Spring Simulation Interoperability Workshop, Orlando, FL, 1999
- 7 F. Moradi, R. Ayani, G. Tan. Object and ownership management in air traffic control simulations. In: Proc. the 3rd IEEE Workshop on Distributed Interactive Simulation and Real Time Applications. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1999. 41~48
- 8 S. Strabburger, A. Hamm. Using HLA ownership management in distributed material flow simulations. The 2002 European Simulation Interoperability Workshop, London, UK, 2002
- 9 M. D. Myjak, S. T. Sharp, W. Shu, *et al.* Implementing object transfer in the HLA. The 1999 Spring Simulation Interoperability Workshop, Orlando, FL, 1999
- 10 G. Sauerborn, G. Moss, *et al.* HLA ownership management services: We almost got it right. The 2000 Fall Simulation Interoperability Workshop, Orlando, FL, 2000
- 11 Liu Xiaojian. Research on information transmission latency in large scale distributed simulation: [Ph. D. dissertation]. Changsha: National University of Defense Technology, 2003 (in Chinese)
- (刘晓建. 大规模分布式仿真信息传输延迟管理技术[博士论文]. 长沙: 国防科学技术大学, 2003)
- 12 DMSO. DMSO RTI-NG. <http://www.dmsol.mil/hla>, 1998



Liu Xiaojian, born in 1974. Ph. D. His current research interests include distributed simulation techniques.

刘晓建, 1974 年生, 博士, 获军队科技进步一等奖 1 项, 现主要从事分布式交互仿真平台及其相关技术的研究.



Zhong Hairong , born in 1971. Engineer and doctoral candidate. His current research focus is on distributed simulation technologies.
钟海荣 ,1971 年生 ,工程师 ,博士研究生 ,获军队科技进步三等奖 1 项 ,现主要从事分布式仿真中的动态时空一致性研究.



Jin Shiyao , born in 1937. Professor and Ph. D. supervisor. His current research interests include distributed simulation technologies and distributed systems.
金士尧 ,1937 年生 ,教授 ,博士生导师 ,曾主持研制 4 个型号的银河仿真系统 ,获国家级奖 5 项 ,省部级奖多项 . 现主要从事高性能、分布式计算机系统以及分布式交互仿真等方面研究.

Research Background

This study is granted by the Chinese National Defense Pre-Research Foundation (Grant No. 514040201 , 01KG01.1.7).

In the long running large scale distributed simulations , due to its complexity and highly dynamics , the statically preassigned entity-host distribution can not fit the system 's run time communication and computation patterns well. And accidentally host crashes even cause the failure of the whole simulation. Entity migration helps to balance the simulation 's communication and computation load , reduce the communication latency , and tolerant faults. High Level Architecture (HLA) , which is the mainstream standard in the distributed simulation world , presents some mechanisms to enable simulation entity migration. However , it leaves the strategy to utilize these mechanisms undefined. As a result , all the simulation applications we know take an ad hoc way , which has various kinds of drawbacks. In order to make simulation entity migration more feasible and help simulation developers construct such applications , this paper introduces a safe approach to transfer entities under HLA. The protocol and its implementation issues are studied in detail. Utilizing the protocol this paper presents , simulation entities can change its computation host safely , with no risk of causing simulation errors or distorts. As a result , the large scale distribution simulations can be run under less rigorous physical environment.

2005 年全国开放式分布与并行计算学术会议
征文通知

由中国计算机学会开放系统专业委员会主办、上海大学计算机学院承办、上海计算机学会协办的“ 2005 年全国开放式分布与并行计算学术会议 ”将于 2005 年 10 月 27 ~ 29 日在上海召开 , 有关信息如下 :

征文范围(论文范围包括但不限于下列方面)

开放式分布与并行计算模型及体系结构 ; 下一代开放式网络、数据通信、网络与信息安全、业务管理技术 ; 开放式海量数据存储与 Internet 索引技术 , 分布与并行数据库及数据 / Web 挖掘技术 ; 开放式机群计算、网格计算、Web 服务、P2P 网络及中间件技术 ; 开放式移动计算、自组网与移动代理技术 ; 分布式人工智能、多代理与决策支持技术 ; 分布与并行计算算法及其在科学与工程中的应用 ; 开放式虚拟现实技术与分布式仿真 ; 开放式多媒体技术 , 包括媒体压缩、内容分送、缓存代理、服务发现与管理技术 .

征文要求

论文必须是未正式发表的、或者未正式等待刊发的研究成果 . 论文格式仿照《计算机应用与软件》刊物的格式 , 应包括题目、作者、所属单位、摘要、关键词、正文和参考文献 . 论文中、英文均可 , 一般不超过 5000 字 , 一律用 Word2002 格式排版 , 提供 A4 激光打印稿一式两份 , 并将论文电子版上传到会议网站上或发送 Email 至 bfzhang@staff.shu.edu.cn . 经程序委员会审查合格的论文 , 将收入论文集 , 在中国计算机学会会刊《计算机应用与软件》上发表 .

重要日期

会议时间 2005 年 10 月 27 ~ 29 日 ; 截稿日期 2005 年 7 月 15 日 ; 录用通知 2005 年 7 月 30 日

联系方式

投稿地址 : 上海市延长路 149 号上海大学计算机学院 缪淮扣 收(请在信封上注明 DPCS2005)
邮政编码 200072 电话 021-56331669
电子邮件 : bfzhang@staff.shu.edu.cn (请在邮件主题中注明 DPCS2005)
会议主页 : http://www.cs.shu.edu.cn/DPCS2005 可进一步查询会议信息 .
专委会联系人 : 南京大学计算机系 陈贵海 , 联系电话 025-58916715 , 电子邮件 gchen@nju.edu.cn .