

集中式 RTI 中时间管理的必要性^{*})

陈春鹏¹ 索红军² 姚益平¹ 王怀民¹

(国防科技大学计算机学院 长沙 410073)¹ (渭南师范学院计算机系 渭南 714000)²

摘要 本文研究 HLA/RTI 实现的结构和时间管理之间的关系。当前,人们在为不同的应用构造联盟的过程中设计实现了各种各样的 RTI,例如网络多人游戏应用的集中式 RTI、国防应用的分布式 RTI 等。现在,在开发 RTI 软件的过程中,为了满足 IEEE 标准且获得所有 HLA 特征,人们通常在所有 RTI 中都需要完成时间管理。首先,本文展示了集中式 RTI 和层次式 RTI 的结构,解释了时间管理需求的原因。然后,基于基本的结构分析,得出在集中式 RTI 中并不需要时间管理的结论。最后,本文列举了一些推论,例如层次式 RTI 的时间管理。

关键词 时间管理, RTI 结构, 集中式 RTI, 层次式 RTI

Unnecessary Time Management in Centralized RTI

CHEN Chun-Peng¹ SUO Hong-Jun² YAO Yi-Ping¹ WANG Huai-Min¹

(College of Computer Science and Technology, National University of Defence Technology, Changsha 410073)¹

(Department of Computer, Weinan Normal Institute, Weinan 714000)²

Abstract The issues concerning the relation between Time Management of HLA/RTI and the structures of RTI Implementations is investigated in this paper. Nowadays, diverse RTI implementations have been designed to construct federations for different applications, such as Centralized RTI for multiplayer games, Distributed RTI for defense applications, etc. Now, it is accepted that Time Management needs achieving in all RTI for a full-featured RTI implementation according to IEEE standards. First, the structure of Centralized RTI and Hierarchical RTI and the reason of Time Management will be shown. Then, the conclusion that the Time Management is not necessary in centralized RTI will be drawn on the basis of structure analysis. At last, some other corollaries, e. g. about the Time Management in Hierarchical RTI, will be listed.

Keywords Time management, RTI structure, Centralized RTI, Hierarchical RTI

1 引言

高层体系结构 HLA(High Level Architecture)已于 2000 年 9 月被定为 IEEE 国际标准,它为分布条件下的建模与仿真提供了一个通用的标准软件体系结构。目前,为了使 HLA 的体系结构得到规范应用,人们在不同的应用中设计了相应的运行支撑环境(RunTime Infrastructure, HLA/RTI)。许多不属于分布式仿真团体的人也希望 HLA/RTI 能够成为他们应用中的通用支持环境,这些人可能属于分布式虚拟现实团体或者网络游戏团体。因此,各式各样的 RTI 实现出现在各自不同的应用中,它们具有不同的结构。

当前,为了适应一系列广泛应用,人们设计了不同的 HLA/RTI 实现。除了分布式仿真团体,其它组织也希望能够利用 HLA 为他们的应用提供通用的底层服务支持,这些组织包括虚拟环境组织和娱乐组织。因此,为了支持不同的应用,人们已经研究、实现了各式各样的不同结构的 RTI 实现,例如 DMSO 的 RTI 1.3NG-v5、瑞典 Pitch 公司研制的 pRTI 等。

从本质上说,任何仿真都仅仅是现实世界的一种近似,而应用到并行和分布仿真中的时间管理机制只是用来保证系统

的时序方面能够重现。在 HLA 框架中的时间管理服务能够把联盟(federation)中有时序的消息按照正确的顺序发送,从而提供一种同步机制。在开发 RTI 软件的过程中,为了获得具有所有 HLA 特征的实现,通常需要完成时间管理。然而,事实上,在某些 RTI 结构中,例如集中式 RTI,时间管理是不必要的,本文将对此进行分析论证。

2 RTI 结构

由于 RTI 是联盟运行的分布式系统,所以设计 RTI 需要考虑组件在网络中的互连和通讯方式。在分布式仿真中,两种常用的体系结构确定了组件的互连:一种是 client-server 方式,一种是 peer-to-peer 方式^[6]。这里,我们将研究 client-server 方式,其中包括 RTI 的集中式实现和层次式实现。

2.1 集中式 Centralized RTI

逻辑上,HLA 定义了一种典型的 client-server 模式,而 RTI 与盟员之间的服务由 HLA 的接口规范描述。因此,HLA/RTI 最简单的实现方式就是将逻辑结构直接映射为 RTI 的物理结构,也就是将 RTI 作为 server,根据盟员的请求提供相应的服务。在本文中,我们将这种物理上集中的 RTI 的实现方式叫做集中式 RTI(如图 1 所示,其中 IF 是接口 interface)。eRTI^[7]和 XRTI^[10]就是采用的这种实现方式。

^{*} 本课题得到国家自然科学基金(No. 60373024)和国家 863 计划(No. 2004AA115130-03)资助。陈春鹏 博士生;索红军 学士,讲师;姚益平 博士,教授,博士生导师;王怀民 博士,教授,博士生导师。

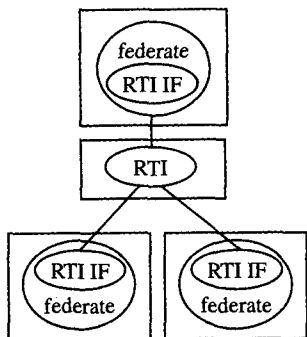


图1 基于集中式 RTI 的联盟

2.2 层次式 RTI

为了降低一个中心 RTI 的负载,将 RTI 服务器的结构层次化,如图 2 所示。其中 LRTI 表示局部 RTI, CRTI 表示中心 RTI。LRTI 处理本地操作,而 CRTI 仅仅处理全局操作。这样,能够在仿真规模比较大的情况下减少所有 RTI 服务的反应时间。LRTI 的特定任务就是尽量在本地完成盟员请求,而必要的请求才送到 CRTI 处理。CERTI^[1,2]就是采用的这种实现方式。

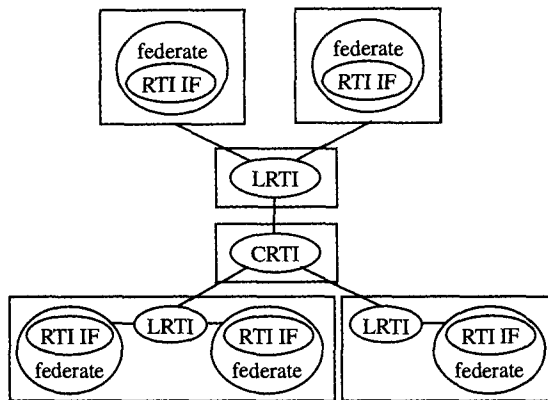


图2 基于层次式 RTI 的联盟

3 时间管理的必要性

在分布式仿真应用的理想情况下,仿真模型演进的延时和通讯网络的反应时间应该与被建模系统的延迟一致,这样才算是对该系统准确地模拟^[3]。但是,很不幸,实际情况通常与理想情况不同,消息延迟通常是可变的。并且,通过消息的进程通讯具有不可预测的传输时间,而进程通常不能访问一致的全局时钟,也不能完全地同步局部时钟。这样,在仿真过程中就有可能产生在现实世界中不可能的事件序,这是人们不希望发生的。例如,在联盟仿真运行中,结果事件看起来像是在原因事件之前发生,这与现实世界中的因果关系相悖,如图 3 所示^[3,4]。

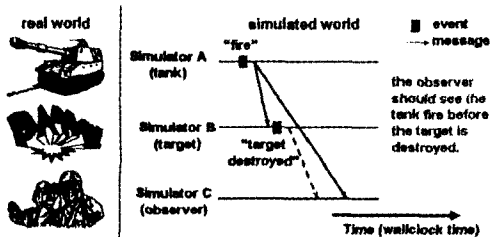


图3 分布式仿真的因果异常

时间管理服务和相关机制为联盟运行提供了消息发送方式,使整个联盟运行过程中消息能够有序发送。在联盟运行中使用这种机制,源自不同加入盟员的消息能够以一致的顺序交付给任何愿意接收这些消息的盟员^[9]。

4 解决方案

在文[9]中描述了 RTI 为盟员提供的 7 种基本服务,但是我们认为,在使用集中式 RTI 或层次式 RTI 分布式仿真应用中,因为所有盟员间的通讯都要经中心服务器转发,所以时间管理并非是不可或缺的。

4.1 直觉

在分布式系统中可能发生图 3 所示的因果异常。但是,这种情况不会发生在基于集中式 RTI 的联盟运行中。首先我们根据图 4 给出非形式化的解释,以后将给出形式化的证明。

图 4 中与图 3 中明显不同的是仿真器间的消息必须通过中央的 RTI 服务器转发。由于公布订购通讯结构,尽管仿真器 A 不知道谁将接收包含“开火”事件通知的消息,它必须首先将该消息发送到 RTI。因为在仿真器 B 中,“目标摧毁”事件发生在接收了“开火”消息后,所以“开火”消息必然先于“目标摧毁”消息到达 RTI。这样,如果 RTI 中具有 FIFO 属性,在仿真器 C 必定会接收“开火”消息先于“目标摧毁”。因此,即使没有事件管理,也不会发生因果异常。

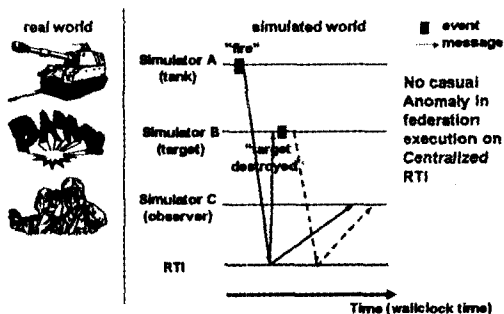


图4 应用集中式 RTI 没有因果异常

4.2 结构分析

我们可以对该问题进行如下建模:联盟运行 $G = (V, E, M)$ 是一个互连的有向图。其中, V 是通讯节点的集合; E 是边的集合,表示节点对之间的互连; M 是节点间传输的消息的集合。

定义 1 如果 $(u, v) \in E$, 从节点 u 到节点 v 的边称为联盟运行直接连接, 记作 (u, v) 。如果从节点 u 到节点 v 存在一条长度大于 1 的路径, 则称联盟运行中的间接连接, 记作 $[u, v]$ 。

很明显,联盟运行的通讯网络至少是弱连通的。

在分布式仿真中,如果没有消息发出,一个盟员中的事件对于其它盟员来说是不可知的。为了简化,本文使用包含事件通知的消息来显示事件间的关系,而不是使用事件本身。

定义 2 对于消息 m_1 和 m_2 , 在它们从同一个节点发出情况下, m_2 是 m_1 的下一个消息; 在它们从不同的节点发出的情况下, m_2 是 m_1 接收后的下一个消息, 我们称 m_1 和 m_2 之间存在因果关系, 记作 $m_1 \rightarrow m_2$ 。

可以说, m_2 中的事件是 m_1 中事件的结果, m_1 中事件是 m_2 中事件的原因。

定义 3 如果 $m_1 \rightarrow m_2, m_2 \rightarrow m_3, \dots, m_{n-1} \rightarrow m_n (n > 1, n$

$\in \text{Nat}$), 则称 m_1 和 m_n 之间存在因果关系, 记作 $m_1 \rightarrow m_n$ 。

很明显, 因果关系是反自反、反对称和传递的。

定义 4 本文中, $S(m_1, u, v)$ 表示节点 u 通过边 (u, v) 发送消息 m_1 , $R(m_1, u, v)$ 表示节点 v 通过边 (u, v) 接收消息 m_1 。

定义 5 我们递归地定义发送消息和接收消息之间的关系“ $<$ ”: (1) 如果 a, b 是同一节点的发送消息和接收消息的活动, 若 a 先于 b 发生, 则 $a < b$; (2) $S(m_1, u, v) < R(m_1, u, v)$; (3) 若 $a < b$ 且 $b < c$, 则 $a < c$ 。

很明显, 关系是反自反、反对称和传递的。

定义 6 如果 $m_1 \rightarrow m_2$ 且 $R(m_1, *, v) < R(m_2, *, v)$, 称为因果异常发生, 记作 $A(m_2, m_1, v)$ 。这里 $*$ 是任意节点。

图 3 展示的分布式系统可能发生因果异常。这里, 用抽象的观点研究为什么因果异常可能发生的问题, 如图 5 所示。在联盟运行 $G = (V, E, M)$ 中, $u, v, w \in V, m_1, m_2 \in M, m_1 \rightarrow m_2$, 因为边 (w, v) 和边 (u, v) 不同而通讯网络中的消息延迟是可变的和不可预测的, 所以 $A(m_2, m_1, v)$ 有可能发生。

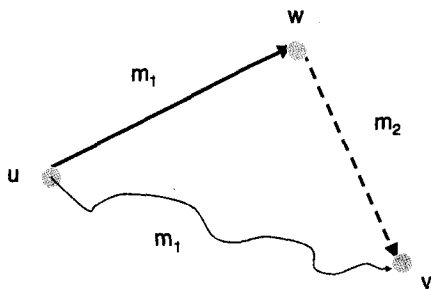


图 5 分布式系统结构分析

定义 7 在集中式 RTI 或者层次式 RTI 上的联盟运行 $G = (V, E, M)$ 中, $F(v)$ 表示 v 是盟员节点, $O(o)$ 表示 o 是 RTI 服务器节点。

定义 8 假定 $G = (V, E, M)$ 是联盟运行, $\exists o \in V, O(o)$ 。若 $O(o1)$, 则 $o = o1$; 若 $(u, v) \in E$, 则 $u = o$ 或 $v = o$ 。我们称 G 是集中式 RTI 上的联盟运行。

定义 9 假定 $G = (V, E, M)$ 是联盟运行, (V, E) 是一棵有指定根的树, 而 $F(w)$ 当且仅当 w 是树中的叶, 我们称 G 是层次式 RTI 上的联盟运行。

4.3 基本假定

在进一步说明问题前, 有必要声明一些有用的假定。这些假定表示, 为了使用这一理论, 问题的环境所应满足的条件。

假定 1 $R(m_1, u, v) \text{ iff } S(m_1, u, v)$ 。 $R(m_1, u, v) < R(m_2, u, v) \text{ iff } S(m_1, u, v) < S(m_2, u, v)$ 。

分布式系统必须首要考虑的是组件通讯的消息通道的属性。假定 1 意味着通讯是可靠、有序的, 消息的接收顺序与发送顺序一致。这样的通讯协议随处可见, 例如广泛使用的 TCP/IP、FDK 中使用的 Fast Message 协议, 都能可靠、有序地提交传输的数据。

假定 1 对几乎所有采用保守同步的时标系统实现都是至关重要的。不管在何种体系结构下, 没有这样的假定, 在没有其它附加条件的前提下, 保守同步都很难保证, 所以该假定是几乎所有保守同步的时标系统的前提^[6]。

假定 2 若 m_1 和 m_2 从同一站点 u 发出, 则 $S(m_1, u,$

$*) < S(m_2, u, *) \text{ iff } m_1 \rightarrow m_2$ 。

该假定是说从同一进程发出的消息必须遵循时间进化的递增顺序, 该假定保证了消息有序发出。该假定是保持消息的相对顺序、防止系统运行中的不可能事件序的发生的基本要求。

假定 1 和假定 2 保证了源自同一进程的因果消息不会在系统中引发因果异常。

假定 3 若 $F(u), F(v), u$ 向 v 发送消息 m_1 , 则 $\exists o1, o2 \in V$, 且 $O(o1), O(o2), S(m_1, u, o1) < R(m_1, o2, v)$ 。

实际上, 该假定来自于 HLA 规则中的规则 3: “在联盟运行期间, 加入盟员之间的所有 FOM 数据交互都要经由 RTI”^[8]。在集中式 RTI 上的联盟运行, 由于 RTI 服务器是唯一的, 所以该假定可以描述如下: 若 $F(u), F(v), u$ 向 v 发送消息 m_1 , 则 $S(m_1, u, o) < R(m_1, o, v)$ 。

假定 4 如果 $O(o)$, 那么 $S(m_1, o, *) < S(m_2, o, *) \text{ iff } R(m_1, *, o) < R(m_2, *, o)$ 。

根据 HLA 规则中的规则 2 “在联盟中, 所有仿真相关的对象实例的描述都应该在盟员中, 而不是在 RTI 中”, 所以 RTI 只是转发消息。RTI 服务器按照先进先出 (FIFO) 的顺序存储转发到达 RTI 的消息, 使得消息转发的顺序与消息到达的顺序一致。我们认为在客户-服务器方式的分布式仿真中, RTI 服务器中的 FIFO 队列就足够满足消息的因果序需求。这样, 信息能够以因果序正确和整齐的方式提交给加入盟员。

4.4 结论

基于以上假定, 我们将得出结论: 在集中式 RTI 实现中, 时间管理并不是必不可少的。

定理 5 假定 $G = (V, E, M)$ 是集中式 RTI 上的联盟运行, $o, u, w \in V, O(o), F(u), F(w)$ 。若 u 发出消息 m_1, w 发出消息 m_2 , 且 $m_1 \rightarrow m_2$, 则 $R(m_1, u, o) < R(m_2, w, o)$ 。

证明:

如果 u, w 是同一节点

1) $m_1 \rightarrow m_2$

前提提交

2) $S(m_1, u, o) < S(m_2, w, o)$

假定 3 应用到 1)

3) $R(m_1, u, o) < R(m_2, w, o)$

假定 1 应用到 2)

否则, u 和 w 是不同的节点 (如图 6 所示, m_1 沿实线传输, m_2 沿虚线传输)

1) $m_1 \rightarrow m_2$

前提提交

2) $R(m_1, o, w) < S(m_2, w, o)$

定义 2 应用到 1)

3) $S(m_2, w, o) < R(m_2, w, o)$

定义 5

4) w 接收 m_1

定义 2 应用到 1)

5) $R(m_1, u, o) < S(m_1, o, w)$

假定 2 应用到 4)

6) $S(m_1, o, w) < R(m_1, o, w)$

定义 5

7) $R(m_1, u, o) < R(m_2, w, o)$

定义 5 应用到 2/3/5/6)

综上,该引理成立。

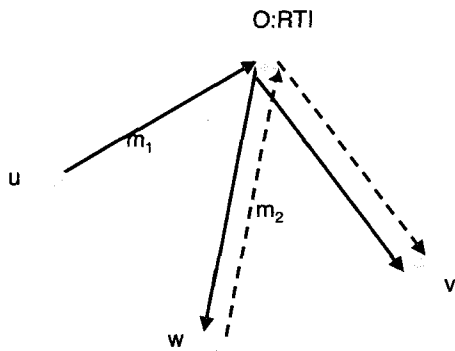


图6 应用集中式 RTI 的消息传输

定理6 假定集中式 RTI 上的联盟运行 $G = (V, E, M)$, $o, v, u, w \in V, O(o), F(u), F(v), F(w)$ 。若 u 向 v 发送消息 m_1 , w 向 v 发出消息 m_n , 且 $m_1 \rightarrow m_n$, 则 $R(m_1, o, v) < R(m_n, o, v)$ 。

证明:

1) u 向 v 发送消息

前提条件

2) $R(m_1, u, o) < S(m_1, o, v)$

假定2应用到1)

3) w 向 v 发出消息 m_n

前提条件

4) $R(m_n, w, o) < S(m_n, o, v)$

假定2应用到3)

5) $m_1 \rightarrow m_n$

前提条件

6) 假定在 $v_2, v_3, \dots, v_{n-1}$ 中存在 $m_2, m_3, \dots, m_{n-1}$, 使得 $m_1 \rightarrow m_2, m_2 \rightarrow m_3, \dots, m_{n-1} \rightarrow m_n$ ($n > 1$)

定义3应用到5)

7) $R(m_1, u, o) < R(m_2, v_2, o), R(m_2, v_2, o) < R(m_3, v_3, o), \dots, R(m_{n-1}, v_{n-1}, o) < R(m_n, w, o)$

引理5应用到6)

8) $R(m_1, u, o) < R(m_n, w, o)$

定义5应用到7)

9) $S(m_1, o, v) < S(m_n, o, v)$

假定4应用到8)

10) $R(m_1, o, v) < R(m_n, o, v)$

假定1应用到9)

基于以上证明,我们得出结论:在集中式 RTI 上的联盟运行中不会发生因果异常。同样的道理,集中式 RTI 即使不使用时标,也能够满足文[3]中所述的对全序的需求,具有因果关系的两个消息总是以相同的顺序被每个加入盟员接收。这样,在联盟运行中,不同加入盟员发出的消息将被任何加入盟员以一致的顺序提交。

推论7 在集中式 RTI 中时间管理不是必不可少的。

证明:直接从定理6得出。

4.5 一些推论

定理8 假定层次式 RTI 上的联盟运行 $G = (V, E, M)$, $v, u, w \in V, F(u), F(v), F(w)$ 。若 u_1 向 v 发送消息

m_1, u_n 向 v 发出消息 m_n , 且 $m_1 \rightarrow m_n$, 则 $R(m_1, *, v) < R(m_n, *, v)$ 。

证明:

m_1 从节点 u_1 发出,根据树的基本属性^[11],从 u_1 到 v 恰有一条简单路径,而消息能够在任何节点保持 FIFO。考虑从 u_1 到 v 的路径,对于任何消息 c ,如果 $a \rightarrow c$, c 不可能先于 a 出现在任何节点,即 a 在这条路径上一定首先被接收,所以 $R(m_1, *, v) < R(m_n, *, v)$ 。

这样,我们得出结论:在层次式 RTI 上的联盟运行中不会发生因果异常。

推论9 在层次式 RTI 中时间管理并不是必不可少的。

证明:直接由定理8得到。

这样,我们证明了时间管理仅仅适用于 peer-to-peer 方式,其中包括 RTI 的功能分布式实现和全分布式实现,我们正在对此进行深入的研究。

总结 HLA 中时间管理服务在为盟员以因果序正确和整齐的方式提交信息的过程中至关重要,所以为了获得具有所有 HLA 特征的实现,在各种结构的 RTI 实现中总是研究时间管理。实际上,在集中式或层次式 RTI 中并不需要时间管理。所以,在不同 RTI 实现上的联盟运行中是否使用时间管理是可选的。另外,我们正在研究在 peer-to-peer 方式的联盟运行中和层次式联盟群中的时间管理。

参考文献

- Adelantado M. HP-CERTI: Towards a high Performance, high Availability Open Source RTI for Composable Simulations. SIW Paper 04F-SIW-014, 2004
- Bréholée B. CERTI: Evolutions of the ONERA RTI Prototype. SIW Paper 02F-SIW-018, 2002
- Defense Modelins and simulation Office. HLA Time Management; Design Document. 1996
- Fujimoto R M. Time Management in the High Level Architecture. 2000
- Fujimoto R M. FDK Users Guide. 2001
- Fujimoto R M. Distributed Simulation Systems. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 2003
- Furuichi M. Performance Evaluation Model of HLA/RTI and Evaluation Result of eRTL. Simulation Interoperability Workshop (SIW) Paper 97F-SIW-187, 1997
- IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)---Framework and Rules. USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2000. 12
- IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)---Federate Interface Specification. USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2001. 3
- Kapolka A. The Extensible Run-Time Infrastructure (XRTI): [PHD]. 2003
- Knuth D M. The Art of Computer Programming. Addison Wesley. Ninth printing, 2001
- Snively K. Large Scale Federation Design for JVB using the RTI-NG. SIW Paper 03S-SIW-100, 2003
- Snively K, et al. Large Scale Federation Design for JVB Using the RTI-NG. SIW Paper 03S-SIW-100, 2003