

文章编号: 1005-8451 (2013) 11-0004-05

基于RTI的协同仿真系统交互方法研究

李洪娥, 谭献海, 赵 静

(西南交通大学 信息科学与技术学院, 成都 610031)

摘要: 本文分析了一般的协同仿真系统与基于HLA/RTI的协同仿真系统在工作原理、数据交互等方面差异, 以及基于HLA/RTI的协同仿真系统数据及命令交换实现的技术要点和基于RTI协同仿真平台的体系结构。从通用性角度探讨如何将一些无法直接参与基于HLA/RTI的协同仿真的专业仿真软件进行改造, 使其能够以联邦成员身份加入到RTI联邦中参与协同仿真运行并实现系统数据及命令的正确交互。该研究为开发其他商用仿真软件实现基于RTI的协同仿真提供了参考价值。

关键词: 协同仿真; 运行支撑系统; 数据交互

中图分类号: U266 : TP39 **文献标识码:** A

Research on interaction method of collaborative simulation system based on RTI

LI Honge, TAN Xianhai, ZHAO Jing

(School of Information and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: This paper introduced the differences in working principle and data interaction between general simulation system and collaborative simulation system based on HLA/RTI. The key technical points to achieve the interaction of data and command in collaborative simulation system based on HLA/RTI and the architecture of the collaborative simulation platform based on RTI were also analyzed. It was explored the ways to improve the professional simulation software of the collaborative simulation based on HLA/RTI from the versatility perspective, made it be able to take part in the RTI Federal with the Federal membership so as to participate in running collaborative simulation and implement the properly intersection of the system data and command. This research provided the reference for developing the other commercial simulation software which was utilized to implement the collaborative simulation based on RTI.

Key words: collaborative simulation; run-time infrastructure(RTI); data interaction

2000年9月已经成为正式IEEE标准的HLA(High Level Architecture)随着大规模复杂系统协同仿真需求应运而生。它通过运行支撑环境(RTI, Run-Time Infrastructure)实现所有接口服务, 将仿真应用与底层支持环境分开, 使各部分可以相对独立地开发并充分利用各自领域先进的技术^[1-2]。基于HLA/RTI的协同仿真正逐步成为今后仿真发展的主要方向。

目前, 对于一些不能直接参与基于HLA/RTI协同仿真的仿真软件模型, 经过改造使其能参与的成功案例很多。例如, 针对MATLAB中的SIMULINK工具, 将MATLAB改造成HLA/RTI中的联邦成员使其加入联邦协同仿真^[3];

将OPNET Modeler仿真作为一个联邦成员加入HLA/RTI的协同仿真; 将ModSAF从DIS兼容的仿真系统改造成HLA兼容的联邦成员。本文结合具体事例, 利用HLA技术, 将其运用到高速列车协同仿真上, 验证HLA/RTI技术的可行性。针对一些不支持HLA/RTI, 无法直接参与的专业仿真软件, 从通用性探讨将领域模型HLA改造, 最终让其与适配器一起作为一个联邦成员加入到联邦运行中参与协同仿真^[4]。

1 RTI_Agent适配器的设计

基于HLA/RTI的协同仿真是在仿真系统中设立一条仿真的软总线, 各仿真应用按照HLA规则开发的接口插入到总线上, 通过这条总线实现模

收稿日期: 2013-03-05

作者简介: 李洪娥, 在读硕士研究生; 谭献海, 副教授。

块间的交互操作。在基于 HLA/RTI 的协同仿真系统中, 各个非 HLA 联邦成员模型是通过和其适配器一起将数据发送到 RTI 运行平台上, 利用数据交互规则进行通信^[5]。

1.1 RTI_Agent适配器的开发

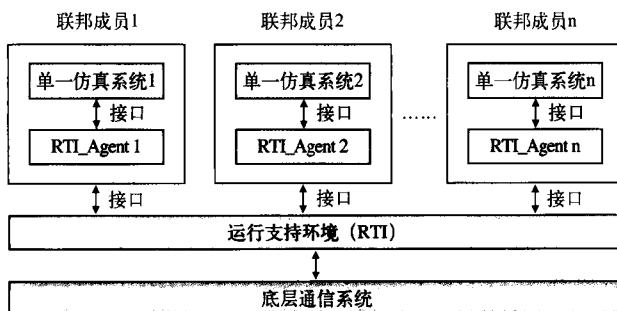


图1 RTI_Agent的工作原理示意图

RTI_Agent 的工作原理如图 1 所示。RTI_Agent 是一个符合 HLA 标准的应用程序, 作为各学科模型和 RTI 仿真软总线的数据缓冲器, 数据交互都要通过这个 Agent 转换为符合 HLA 标准的格式。仿真运行过程中, 各领域模型的实际运行载体是各学科专业的仿真软件, 因此实际上产生数据交互的双方是仿真软件和 RTI 运行平台, RTI_Agent 则是将不同仿真软件封装成具有统一 HLA 接口的仿真实体, 通过它实现对领域模型的 HLA 封装改造。RTI_Agent 既实现了与原模型的接口, 又实现了与 HLA/RTI 接口, 从而使 HLA/RTI 非兼容的系统能参与到协同仿真中。

1.2 模型、RTI_Agent、RTI之间的数据交换原理

(1) 模型输入变量与输出变量的映射过程

该过程包括模型的输出变量与对应联邦成员的对象类属性之间的映射和该联邦成员对应的模型的输入变量要与其他联邦成员的对象类属性映射两种映射关系。

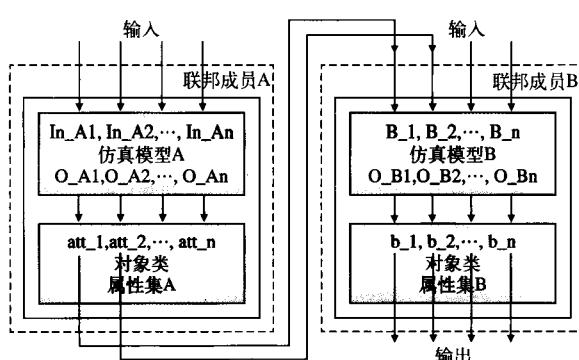


图2 模型接口参数映射示意图

将两个仿真模型 A 和 B 构造成 HLA 联邦成员过程中模型的输入输出变量映射到联邦成员属性如图 2 所示。将仿真模型 A 开发成联邦成员 A, 仿真模型 B 开发成联邦成员 B, 联邦成员 A、B 分别对应了一个对象类集 Obj_A, Obj_B, 对象类 Obj_A 具有属性 att_1, att_2, …, att_n, 输出参数 O_A1, O_A2, …, O_An, 输入参数 In_A1, In_A2, …, In_An 对象类 B 具有属性 atr_b1, atr_b2, …, atr_bn, 输出参数 O_B1, O_B2, …, O_Bn, 输入参数 B_1, B_2, …, B_n。模型的输出变量和联邦成员的对象类属性之间的映射就是将模型 A 的输出变量 O_A1, O_A2, …, O_An 与联邦成员 A 的属性集中的属性 att_1, att_2, …, att_n 一一映射, 模型 B 与联邦成员 B 的属性集映射亦如此。这就完成了输出变量的映射。

模型的输入变量与其他联邦成员的对象类属性的映射, 即若模型 B 对模型 A 的属性 att_1, att_2 感兴趣, 联邦成员 B 通过订购这两个属性作为模型 B 的输入变量, 这样模型 B 的输入变量 B_1, B_2 就与模型 A 的联邦成员的对象类属性 att_1, att_2 成映射关系。这就完成了模型的输入变量与其他联邦成员的对象类属性映射。

(2) 模型间数据信息的动态交互

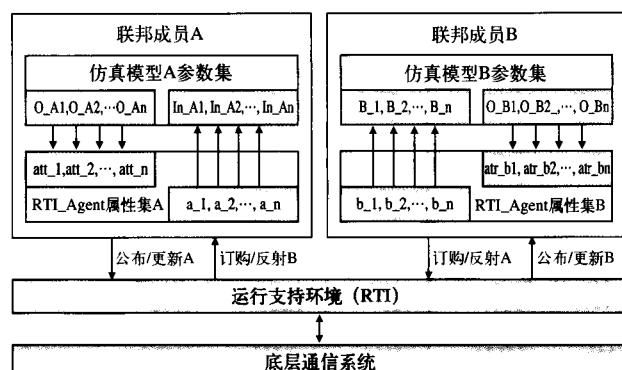


图3 模型间信息映射及交换示意图

模型间的信息映射及交换示意图如图 3 所示。联邦成员 A 和 B 首先按照 HLA 的声明管理服务确定自身需要公布和订购的属性。在每次仿真推进时, 模型 A 将运算结果 O_A1, O_A2, …, O_An 从领域模型的软件中导入到其所在的联邦成员的对象类属性 att_1, att_2, …, att_n 中, 这些属性会在仿真推进过程中向 RTI 运行平台发送更新命令。若模型 B 要得到模型 A 的输出变量

O_A1, O_A2, 则在经过联邦成员 A 公布并更新该属性之后, 联邦成员 B 通过反射接收将该对象类属性, 复制到自身对象类的属性 b_1、b_2 中, 而属性 b_1、b_2 又会被作为仿真模型 B 的输入参数参与模型 B 的仿真, 最终结果作为其他联邦成员的输入或者仿真系统的输出结果。

(3) 仿真软件的接口设计

仿真软件的接口主要是指模型仿真软件与适配器之间的接口, 采用 HLA 联邦成员接口操作的方法进行设计。首先, 从仿真软件输出结果中获取领域模型的输出变量值, 使输出结果赋值到该领域模型对应的联邦成员的对象类属性中, 然后联邦成员公布该对象属性, 并调用 RTI 的更新服务, 使其他感兴趣的联邦成员可以通过订购/反射接收该联邦成员的属性。其次是将 RTI_Agent 从 RTI 中反射接收的数据按照原仿真模型的输入要求赋值到仿真软件的接口中, 从而保证从 RTI 反射接收的最新属性值参与到领域模型的连续运行中。最后, 在仿真过程中建立领域模型的仿真软件的推进操作, 使其与 HLA 仿真运行中设定的时间步长保持一致。

2 建立联邦成员

基于 HLA/RTI 软件开发的主要任务是联邦成员的软件开发, 包括仿真模型的开发和联邦成员的设计^[6]。下面主要介绍开发联邦成员的流程。

2.1 FOM/SOM的开发

FOM 是仿真的联邦对象模型, Fed 文件是 FOM 的具体开发结果, 它描述了在仿真运行过程中将参与联邦成员信息交换的对象类、对象类属性、交互类、交互参数和路径空间等特性, 在 RTI 运行时, 通过调用函数读取 Fed 文件去创建联邦执行。SOM 是单一联邦成员的对象模型, 它描述了单个联邦成员可以对外公布和需要订购的对象类、对象类属性、交互类、交互参数的特性, 是 FOM 的一个子集。

2.2 联邦成员的开发过程

(1) 初始化成员数据

定义 RTIAmbassador 代理 RtiAmb 和 FederationAmbassador 代理 FedAmb 去初始化成员数据, 并初始化成员仿真对象。

(2) 创建联邦执行

第一个成功加入联邦的成员通过调用 RtiAmb.CreateFederationExecution (FedExecName, FedFile) 创建联邦。FedExecName 为联邦执行名, FedFile 为 FED 文件名。

(3) 加入联邦执行

联邦成员通过调用函数 RtiAmb.joinFederationExecution (Fedtype, FedExecName, FedAmb) 激活 RTI 服务, 向 RTI 申请加入联邦执行。

(4) 公布 / 订购对象类

通过调用 RtiAmb.getObjectClassHandle() 获取对象类句柄值; 调用 RtiAmb.getAttributeHandle() 获取对象类属性句柄值; RtiAmb.publishObjectClass (_hSub, AHSSub) 公布对象类属性。通过调用 RtiAmb.subscribeObjectClassAttributes (_hSub, AHSSub) 订购对象类属性。

(5) 公布 / 订购交互类

联邦成员通过调用 RtiAmb.getInteractionClassHandle() 获取交互类句柄值; 调用 RtiAmb.getParameterHandle() 获取参数类交互句柄; 调用 RtiAmb.publishInteractionClass (_hInter) 公布交互类命令。调用 RtiAmb.subscribeInteractionClass (_hInter) 订购交互类命令。

(6) 确定时间推进策略

通过调用 RtiAmb.enableTimeConstrained 声明时间推进策略为受限制策略; 调用 RtiAmb.enableRegulation() 声明时间推进策略为可调整的。

(7) 注册发现对象实例

联邦成员通过调用 RtiAmb.registerObjectInstance (_hPub, objectName) 来为其注册对象实例。

(8) 请求时间推进

通过调用 RtiAmb.timeAdvanceRequest() 请求时间推进。

(9) 退出联邦执行

仿真结束后, 成员调用 RtiAmb.resignFederationExecution(delete_object) 退出联邦执行。

(10) 撤销联邦

最后一个推出联邦的成员通过调用 RtiAmb.DestroyFederationExecution (FedExecName) 撤销联邦。

2.3 基于 HLA/RTI 协同仿真的基本流程

HLA 联邦运行流程如图 4 所示。改造完成之后, 将仿真模型同 RTI_Agent 一起作为联邦成员加入到 HLA/RTI 协同仿真过程中: (1) 从仿真软件输出结果中获取领域模型的输出变量值。(2) 在推进过程的每一个仿真中, 使仿真软件的输出结果赋值到该领域模型对应联邦成员的对象类属性中, 从而使具有可发布属性的联邦成员在调用 RTI 的更新服务后, 其它订购这个对象属性的联邦成员能通过反射服务收到数据的更新。(3) 按照图 4 中 HLA 联邦运行流程, 加入到联邦运行中, 实现多领域模型间的协同仿真。



图4 HLA联邦运行流程

3 实例

在 CRH2 高速列车 (II 型车) 牵引系统与列车网络系统虚拟仿真中仿真运行框架如图 5 所示。

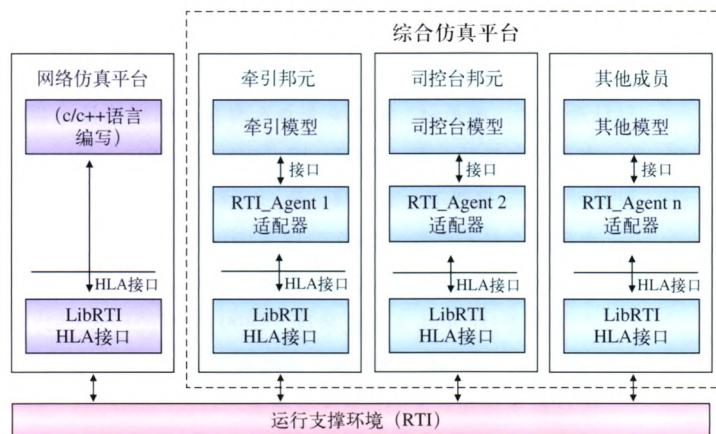


图5 CRH2基于HLA/RTI的协同仿真系统

图 5 中综合仿真平台的牵引联邦成员和司控台联邦成员通过匹配的 RTI_Agent 一起作为

一个联邦成员加入到 RTI 中, 按照 HLA 规则公布订购其对象类和交互类、反射 / 接收对象类和交互类最终实现综合仿真平台与网络仿真平台、综合仿真平台各个单元之间的信息交互。RTI_Agent 的运行流程图如图 6 所示。

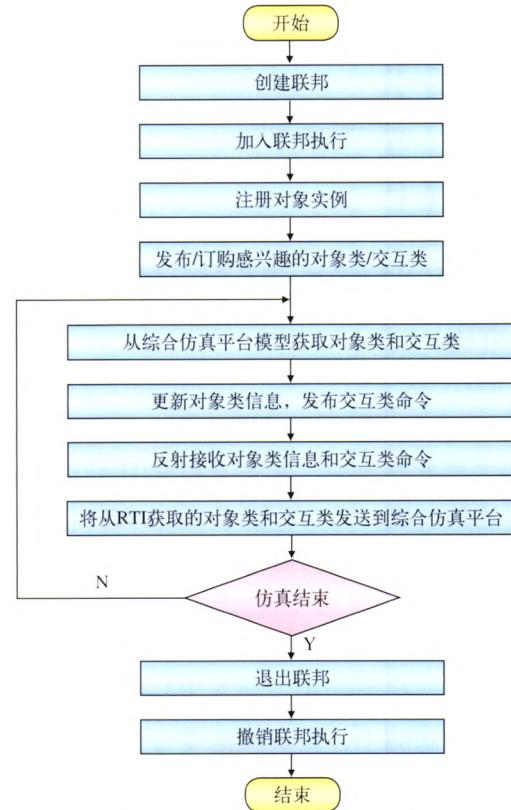


图6 综合仿真平台RTI_Agent程序流程图

高速列车 (II 型车) 牵引系统与列车网络系统虚拟仿真中 FOM 文件、SOM 文件采用 XML 技术处理数据流的开发结果, 如图 7 和图 8 所示。

```

<object>
    <objectClass name="xxx1" sharing="Publish">
        <attribute name="xxx" dataType="U16"
            updateType="No" updateCondition="No" ownership="NoTransfer"
            order="Receive"/>
    </objectClass>

    .....

    <object>
        <objectClass name="xxx" sharing="Publish">
            <attribute name="xxxx" dataType="HLAHandle" updateType="Static"
                updateCondition="No" ownership="NoTransfer" sharing="Publish"
                dimensions="Federate" transportation="HLAreliable" order="Receive"/>
        </objectClass>
    </objects>

    <interactions>
        <interactionClass name="Interaction1" sharing="Neither" dimensions="No"
            transportation="HLAreliable" order="TimeStamp">
            <interactionClass name="xxx" sharing="PublishSubscribe" dimensions="No"
                transportation="HLAreliable" order="Receive">
                <parameter name="Data" dataType="U8"/>
            </interactionClass>
        </interactionClass>
    </interactions>

```

图7 Fed文件中对象类和交互类的定义

通过综合仿真平台中的仿真模型构造 RTI_Agent, 成功将其改造成 HLA 联邦成员加入到 RTI 中, 最终实现了各个联邦成员与网络平台的协同仿真, 实现了数据的正常交互。

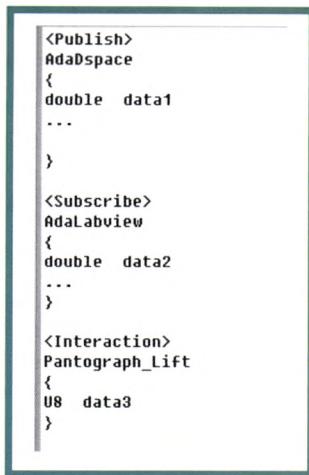


图8 SOM中对象类、交互类和订购类的定义

4 结束语

基于 HLA/RTI 的分布式协同仿真正逐渐成为仿真的主要发展方向。基于 RTI 的协同仿真系统交互方法的实现,成功验证了 HLA/RTI 技术在高速列车的协同仿真上的实用性。

(上接 P3)

进行人因安全机理辨识,并在进行科学评价人因安全状况的基础上,设计人因安全的反馈控制模式。本文结合高速铁路技术创新的背景分析,阐述了高速铁路运营过程中人因安全的实际特征与发展趋势,并提出新形势下高速铁路人因安全的管理对策,为高速铁路人因失误分析与控制提供理论参考。

参考文献:

- [1] 戴晓峰, 刘 澜. 铁路系统安全人因研究综述 [J]. 人类工效学, 2007, 13 (4): 51-54.
- [2] 阎国华. 技术创新过程中的人因安全问题及其管理对策研究 [J]. 科技进步与对策, 2012, 29 (19): 8-12.
- [3] Edkins G D, Pollock C M. Pro-active safety management: application and evaluation within a rail context [J]. Safety Science, 1996, 24 (3): 83-93.
- [4] David E. Rail safety [J]. Reliability Engineering and System Safety, 2001, 74 (3): 291-297.
- [5] Vanderhaegen F. A non-probabilistic prospective and retrospective human reliability analysis method-application to railway system [J]. Reliability Engineering and System Safety, 2001, 71 (1): 1-13.
- [6] John R W, Beverley J N. Rail human factors: past, present and future [J]. Applied Ergonomics, 2005, 36(6): 649-660.
- [7] Cacciabue P C. Human error risk management methodology for safety audit of a large railway organisation [J]. Applied Ergonomics, 2005, 36 (6): 709-718.
- [8] Wilson J R, Norris B J. Human factors in support of a successful railway: a review [J]. Cognition, Technology & Work, 2006, 8 (3) : 4-14.
- [9] Lawton R. Not working to rule: understanding procedural violations at work [J]. Safety Science, 1998, 28 (2): 77-95.
- [10] 贾利民. 高速铁路安全保障技术 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
- [11] 鲍 枫, 唐祯敏. 铁路安全与人为失误问题的研究 [J]. 中国安全科学学报, 2003, 13 (10): 45-48.
- [12] 叶 龙, 项芳芳, 沈 梅, 等. 人的安全性评价研究 [J]. 中国安全科学学报, 2003, 13 (10): 11-15.
- [13] 谷鸿溪, 张建伟. 铁路行车关键工种人员可靠性研究的几个问题 [J]. 中南工学院学报, 1999, 13 (2): 93-97.
- [14] 赵 跃, 叶 龙, 沈 梅. 铁路调度系统中人的失误原因分析及控制对策 [J]. 北方交通大学学报, 2001, 25 (5): 7-79.
- [15] 戴晓峰, 何增辉, 刘 澜. 基于 vague 集与粗糙集的铁路安全信息提取方法 [J]. 铁道学报, 2010, 32 (2): 14-17.

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] IEEE. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) Object Model Template (OMT) specification IEEE Std 1516[S]. 2009.
- [3] 唐 凯, 康凤举, 黄永华. 一种在分布交互仿真系统中使用 Simulink 模型的方法 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19 (4): 787-789.
- [4] 郭 斌, 熊光楞, 陈晓波, 塞 佳. MATLAB 与 HLA/RTI 通用适配器研究与实现 [J]. 系统仿真学报, 2004, 16 (6): 1275-1279.
- [5] 萧国强. 基于 HLA 的协同仿真研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011.
- [6] 张亚崇, 严海蓉, 孙国基, 钟联炯. 基于 HLA/RTI 的联邦成员开发 [J]. 计算机工程, 2003, 29 (14): 3-5.

责任编辑 陈 蓉

责任编辑 陈 蓉