

HLA/RTI 仿真平台的数据分发管理^①

张 婷, 王 琪

(南昌航空大学 信息工程学院, 南昌 330063)

摘 要: 在基于 HLA/RTI 的大规模交互仿真中, 如何高效地实现数据分发管理的信息交互和传递机制是分布式交互仿真的重要内容. 介绍了 HLA 仿真中的联邦开发和执行过程模型和数据分发管理, 提出了一种新的数据分发管理算法, 并阐述了该算法的理论和具体实现方法. 通过分析采用该算法的数据分发管理仿真系统, 证明该算法有效的提高了数据过滤效率, 从而缩短系统仿真时间.

关键词: 高级体系结构/运行支撑环境; 联邦开发和执行过程模型; 数据分发管理; 网格法

Data Distribution Management of Flight Simulation Based on HLA/RTI

ZHANG Ting, WANG Qi

(School of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: In the big-scale interactive simulation based on HLA/RTI, how to establish information exchange and delivery mechanism of Data Distribution Management (DDM) effectively, has become an important content of distributed interactive simulation. This paper introduces Federation Development and Execute Process Model (FEDEP) and DDM in the simulation of HLA, and then a new DDM algorithm is proposed. The theory and the specific implementations of algorithm were presented. used on analyzing the simulation system with the DDM algorithm. The result shows that the algorithm could improve data filtering rate effectively, accordingly shorten the simulation time.

Key words: high level architecture/run time infrastructure (HLA/RTI); FEDEP; DDM; grid-based method

随着计算机技术、信息技术和系统技术的飞速发展, 计算机仿真的应用领域不断拓宽, 分布仿真已成为计算机仿真领域的前沿和热点之一^[1]. 为解决系统仿真中多个仿真系统间的互操作问题, 美国国防部 (DoD) 组织大量专家通过多次研究, 制定了建模与仿真主计划 (MSMP), 提出了未来建模/仿真的共同技术框架. 它包括三个方面: 高层体系结构 (High Level Architecture, HLA)、任务空间概念模型 (Conceptual Models of the Mission Space, CMMS) 和数据标准 (Data Standards, DS).

1 HLA 概述

HLA 提供通用的、相对独立的支撑服务程序, 通过运行支撑环境 RTI 将仿真应用同底层的支撑环境分开. HLA 为复杂系统建模与仿真提供了公共的技术支

撑框架, 它由联邦/联邦成员规则、对象模型模板 (Object Model Template, OMT)、接口规范 (Interface Specification)、运行支撑环境 (Run Time Infrastructure, RTI) 等组成^[1]. 其中 RTI 接口规范包含 6 个方面的内容: 联邦管理、声明管理、对象管理、所有权管理、时间管理和数据分发管理^[2].

HLA 的基本思想是使用面向对象的方法, 设计、开发及实现系统不同层次和粒度的对象模型, 来获得仿真部件和仿真系统高层次上的互操作性与可重用性. HLA 解决了仿真系统的灵活性和可扩充性的问题, 减少了网络冗余数据, 并且可以将真实仿真、虚拟仿真和构造仿真集成到一个综合的仿真环境中, 满足复杂大系统的仿真需要. HLA 在解决导构、分布、协同的仿真模型和仿真系统的互操作与可重用方面取得了重大进展.

^① 收稿时间: 2014-08-04; 收到修改稿时间: 2014-10-16

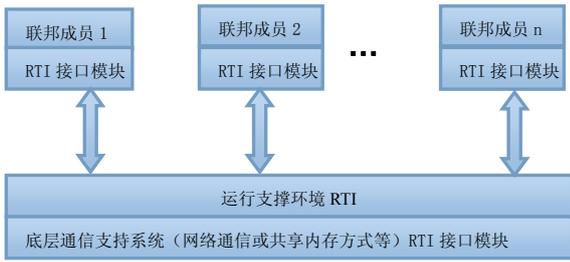


图 1 HLA 仿真逻辑结构

2 联邦开发和执行过程模型

2.1 联邦成员开发

用户在开发一个联邦成员的过程中，分两条主线进行：一是对实际要进行仿真的实际或过程模型的描述、建模和仿真流程的设计，主要围绕实际联邦成员到的内部功能展开，并从中抽取成员对象模型 (Simulation Object Model, SOM) 信息；二是根据成员的 SOM，分析它与其它成员的交互关系，建立联邦对象模型 (Federation Object Model, FOM)，并用对象模型开发工具 (Object Model Development Tool, ODMT) 形成联邦执行数据文件 (Federation Execution Data, FED) 文件，供联邦进行初始化。

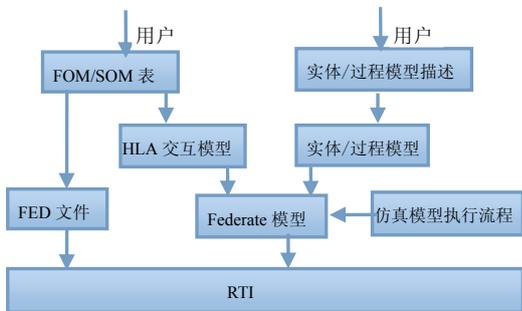


图 2 联邦成员的开发过程

2.2 联邦执行过程模型

基于 HLA 的仿真系统的有效开发和使用，美国国防部建模与仿真办公室 (DMSO) 提出了开发分布交互仿真系统的软件过程方法，即联邦开发和执行过程模型 (FEDEP)。FEDEP 为联邦开发提供了一个一般的、通用性的步骤，即规定了联邦开发过程中所有必须的活动和过程，以及每一个活动和过程需要的前提条件和输出结果。从而有利于联邦开发的需求分析、设计、实现和测试，以便于联邦开发的管理和组织，并可最大程度地避免在联邦开发过程中由于失误而耽误了开

发进程。

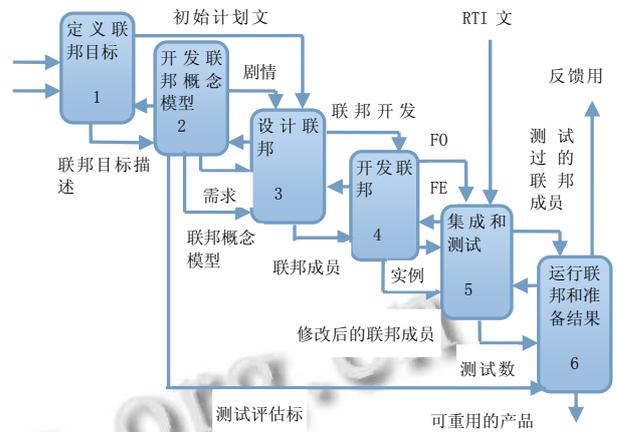


图 3 FEDEP 模型的顶层视图

3 数据分发管理

3.1 数据分发管理

为了有效地减少网络中无用信息的传输，提高网络带宽的利用率，HLA 分别在类 (即对象类属性和交互类) 层次和实例 (即实例属性和交互实例) 层次上定义了数据过滤机制^[3]。数据分发管理 (Data Distribution Management, DDM) 的目的是为联邦设计者提供比声明管理服务更精确、更灵活的用于确定联邦成员间的信息流的工具。

3.2 数据过滤机制

RTI 下的数据过滤机制具有很高的灵活性，表现在同时提供了基于类和基于值的数据过滤方法^[4]。DDM 采用的是基于值的数据过滤机制^[5]。基于类的数据过滤机制由于得到的不只是特定对象实例更新值，因此仅适合于规模较小的联邦或者对象类实例数目较少的联邦。基于值的数据过滤机制虽然过滤效果最佳，但当订购区域和更新区域数量很大时，区域匹配的运算量将很大，不适合进行大规模分布式仿真。

4 动态网格法

4.1 网格法理论证明

动态网格法的主要思想是通过改变网格单元尺寸来提高数据过滤效率从而降低仿真系统消息延迟时间。对于一个应用仿真系统，在网格划分后，单位网格单元的更新时间是相同的，则系统总的网格单元更新时间也会越长，并且区域匹配消耗时间和排队、接受消息时间与数据过滤效率相关。下面我们证明一下仿真

系统数据过滤效率随着网格单元的增加而增加.

假设如图 4 所示二维路径空间的面积为 S_r , 各维被划为 n 等份, 公布区域 U 与订购区域 S_2 的相交区域面积为 S_i , 其占有的网格数为 N , 则数据过滤效率可表示为:

$$F = S_i / N * S_r / n^2 \quad (1)$$

即证明当网格增加时, F 的值也随之增加. 设图 4 所示路径空间的长为 a , 宽为 b ; U 与 S_2 的相交区域的长为 c , 宽为 d . 当网格各维 n 等份时相交区域在纵向所占的网格数为:

$$N_z = c / a / n + 2 \quad (2)$$

横向所占的网格数为:

$$N_h = d / b / n + 2 \quad (3)$$

该证明只考虑相交区域的边界与网格的边界不重叠的情况, 所以纵、横向所占的网格数加 2. 假设 $S_i / S_r = 1 / S$, 将(2)(3)代入(1)式中得:

$$F = \frac{n^2}{S(\frac{n^2 cd}{ab} + \frac{2nc}{a} + \frac{2nd}{b} + 4)} \quad (4)$$

$$\frac{1}{F} = \frac{S(\frac{n^2 cd}{ab} + \frac{2nc}{a} + \frac{2nd}{b} + 4)}{n^2} \quad (5)$$

当网格为 $m(n < m)$ 等份时, 得:

$$\frac{1}{F_n} - \frac{1}{F_m} = (\frac{1}{n} - \frac{1}{m})(\frac{2c}{a} + \frac{2d}{b}) + (\frac{4}{n^2} - \frac{4}{m^2}) \quad (6)$$

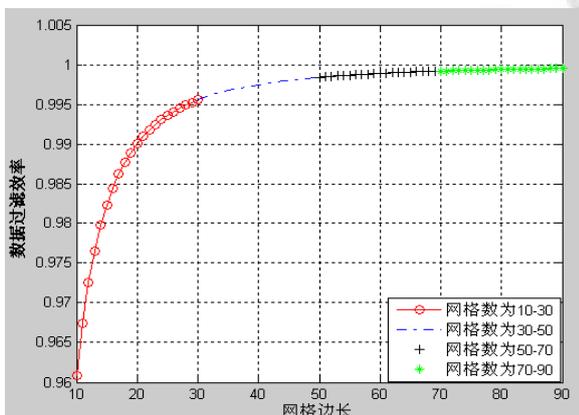


图 4 F 与 n 的关系图

由上图得知, F 函数关于 n 单调递增, 即 $F_m > F_n$,

所以数据过滤效率随着网格数目的增加而增加. 当数据过滤效率提高时, 排队接收的消息数量会越少, 匹配消耗的时间自然也会减少. 通过改变网格单元的尺寸可以有效的解决发展系统消息延迟问题.

4.2 网格法的实现步骤

基于网格的数据过滤机制, 提供了一种相对简单的确定网格连接的方法, 其基本思想是将路径空间划分成粒度相等的网格且每个网格的维数等于路径空间维数, 将区域映射到网格中, 为每个网格单元分配一个组播地址, 如果一个订购区域和一个更新区域重叠, 则它们至少覆盖了一个相同的网格, 发送者向其更新区域相交的网格对应的组播地址发数据, 接受者加入其订购区域相交的网格对应的组播地址中.

二维路径空间下基于网格算法的示意图如图 5 所示: 公布区域 U 和订购区域 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 .

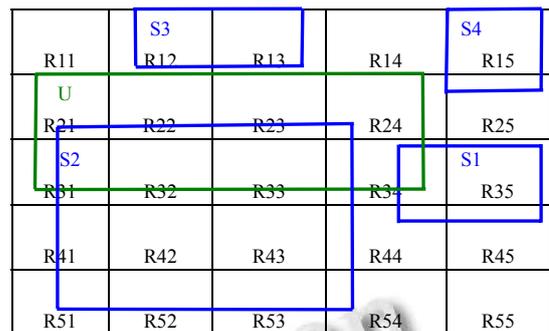


图 5 t 时刻区域分布

在 t 时刻各个区域映射的网格单元情况如下:

U : {R21、R22、R23、R24、R31、R32、R33、R34};

S_1 : {R34、R35、R44、R45};

S_2 : {R21、R22、R23、R24、R31、R32、R33、R34、R41、R42、R43、R44、R51、R52、R53、R54};

S_3 : {R12、R13};

其中 U 和 S_1 覆盖了网格 $R34$, U 和 S_2 覆盖了网格 $R21$ 、 $R22$ 、 $R23$ 、 $R24$ 、 $R31$ 、 $R32$ 、 $R33$ 、 $R34$, U 和 S_4 覆盖了网格 $R24$, 因此 S_1 和 S_4 分别监听 $R34$ 和 $R24$ 组播信息, S_2 监听 $R21$ 、 $R22$ 、 $R23$ 、 $R24$ 、 $R31$ 、 $R32$ 、 $R33$ 、 $R34$ 组播信息. U 分别向这些组播地址发送更新信息, 保证 S_1 、 S_2 和 S_4 能接受到各自感兴趣的信息, 而 S_3 订购区域没有和公布区域匹配, 则 U 不向 S_3 发送更新信息.

以下是算法在 t 时刻的实现步骤:

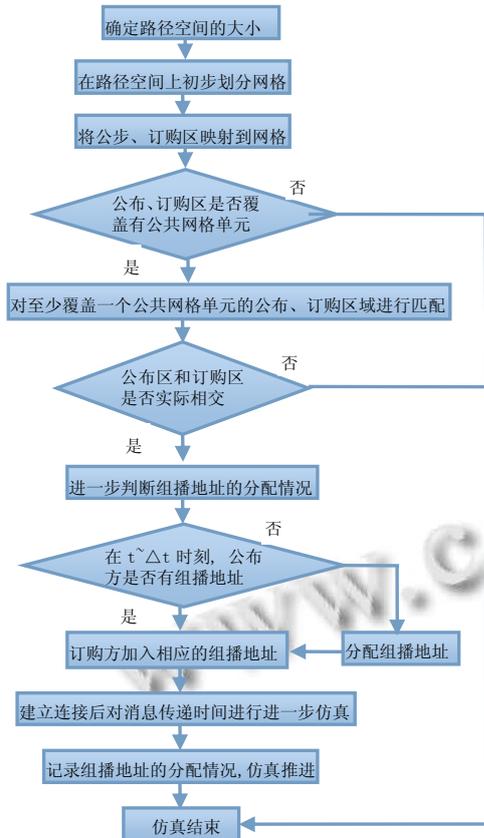


图6 网格法的实现流程图

5 网格法的应用

模拟一个作战: 几个国家攻击其他国家, 他们都拥有坦克、火炮等作战武器, 构成一个简单仿真系统. 实验采用 BH HLA2.2 分步交互仿真开发平台以及 Visual C++6.0. 该仿真系统其中包括对坦克位置, 攻击国家间的通信, 开火信息, 炸弹大量等属性声明. 采用本文提出的网格法, 对联邦中 10 个联邦成员的仿真时间进行分析.

联邦中所有对象类以及管理对象模型中的对象类部分申明.

user object classes

```
(class Country
    (attribute Name reliable timestamp)
    (attribute Population reliable timestamp)
)
(class Tank
    (attribute POS_X reliable timestamp)
    (attribute POS_Y reliable timestamp)
```

```
(attribute POS_Z reliable timestamp)
(attribute ROT_X reliable timestamp)
(attribute ROT_Y reliable timestamp)
(attribute ROT_Z reliable timestamp)
)
联邦中所有交互类以及管理对象模型中的交互类部分申明.
```

user interaction classes

```
(class Immigration reliable timestamp
    (parameter Number)
    (parameter identification)
)
(class Communication reliable timestamp
    (parameter Message)
    (parameter identification)
)
(class Fire reliable timestamp
    (parameter SENDER_ID)
    (parameter identification)
    (parameter hPduOwner)
    (parameter nTimeStamp)
    (parameter nInteractionCount)
)
(class Bomb reliable timestamp
    (parameter force)
    (parameter identification)
```

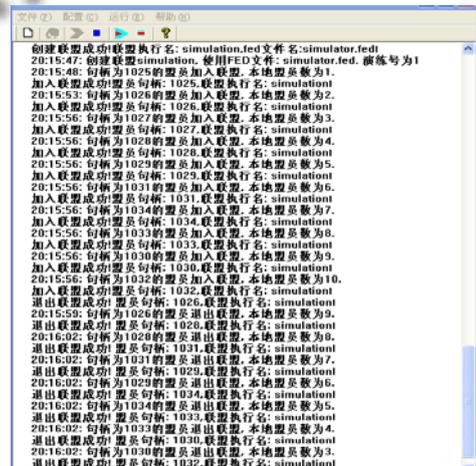


图7 系统仿真图

由图7可以看出联邦成员的仿真速度很快, 所有

联邦成员加入到联邦,用时只有 9 秒,平均时间小于 1 秒,直到所有联邦成员退出联邦只用 15 秒.即使联邦成员数量比较多,系统的仿真时间也不会大大增加.

6 结语

在分布式交互仿真系统规模日益扩大的趋势下,仿真系统的网络处理开销也随之增大. HLA 中的数据分发管理机制为实现大规模分布交互仿真提供了可能,分析了数据过滤原理,提出一种基于网格的数据分发管理算法,较好地兼顾了系统匹配网格消耗与冗余信息传输消耗之间的关系,降低了系统的开销,提高系统的可扩展性.本文给出了该算法的理论证明以及实现步骤,并通过相关仿真验证了该算法的有效性.

参考文献

- 1 周彦,戴剑伟.HLA 仿真程序设计.北京:电子工业出版社,2002.
- 2 付正军,王永红.计算机仿真中的 HLA 技术.北京:国防工业出版社,2003.
- 3 张家祥.HLA 仿真技术应用教程.北京:国防工业出版社,2007.
- 4 张亚崇,孙国基,严海蓉,钟联炯.基于 HLA/RTI 的分布式交互仿真中数据分发管理的研究.系统仿真学报,2004,16(6):1284-1287.
- 5 王磊,李开生,张慧慧,鞠鸿彬.分布式网络环境下 DDM 系统层次仿真框架.系统仿真学报,2007,19(20):4689-4693,4834.
- 6 Zhang YC, Sun GJ, Zhang YJ, Zhong LJ. A new algorithm of data distribution management for distributed interactive. Proc. of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA). 2004. 15-19.
- 7 Petty MD, McKenzie FD, Gaskins RC, Weisel EW. Developing a crowd federate for military simulation. Proc. of the Spring 2004 Simulation Interoperability Workshop (SIW). 2004. 483-493.
- 8 Boukerche A, Roy A. Dynamic grid-based approach to data distribution management. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2002: 366-392.
- 9 孙睿,曹耀钦.一种基于最优网格的动态数据过滤.计算机工程,2008,19(34):38-40.