

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.08.009

# 多机飞行仿真系统扩展性研究

张继夫<sup>1</sup>, 邓华<sup>2</sup>

(1. 空军航空大学 军事仿真技术研究所, 吉林 长春 130022; 2. 空军航空大学 计算机教研室, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 针对以往多机飞行仿真系统中存在扩展性差的问题, 在利用新一代分布式仿真技术框架结构开发该系统的基础上, 采用时间同步和数据过滤的方式来提高系统的扩展性。从基于 HLA 协议开发多机飞行仿真系统入手, 简要介绍 HLA 协议的主要内容及该系统的联邦结构, 重点研究提高多机飞行仿真系统扩展性的关键技术及其具体实现方法。该研究能对提高复杂大规模仿真系统的扩展提供参考。

**关键词:** 飞行仿真; 高层体系结构; 扩展性; 时间同步; 数据过滤

**中图分类号:** N945.13 **文献标识码:** A

## Study of Multi-Aircraft Flight Simulation System Expansibility

Zhang Jifu<sup>1</sup>, Deng Hua<sup>2</sup>

(1. Military Simulation Technology Institute, Air Force Aviation University, Changchun 130022, China;  
2. Staff Room of Computer, Air Force Aviation University, Changchun 130022, China)

**Abstract:** Aiming at the multi-aircraft flight simulation system poor expansibility in the past, developed the system based on the new distributed simulation technology framework, used the time synchronization and data filtering technology to improve the expansibility. It started with developing process of the multi-aircraft flight simulation system, introduced the high level architecture and the federation structure of the system in brief. It focused on the key technologies and their specific implementation methods to raise the multi-computer flight simulation system expansibility. The study can improve the complexity of the expansion of large scale simulation system for reference.

**Keywords:** flight simulation; high level architecture; expansibility; time synchronization; data filtering

### 0 引言

飞行仿真系统即飞行模拟器, 可以完成飞行操作和风险科目等训练内容。随着技术的发展和用户需求的变化, 人们需要将不同地域的单台模拟器互联, 形成多机飞行仿真系统, 完成诸如编队飞行、空中对抗、协同作战等更加复杂的训练科目。传统的基于分布式交互仿真 (Distributed Interactive Simulation, DIS) 技术, 其扩展性非常差, 仅能接入有限数量的仿真系统, 不适合大规模的仿真系统互联。目前常用基于新一代的分布式仿真技术标准—高层体系结构 (High Level Architecture, HLA) 协议来开发多机飞行仿真系统。HLA协议是分布式仿真的一种技术框架和集成标准, 可以实现整个系统的扩展。分布式仿真系统的扩展性决定了系统能够接入仿真子系统的数量及整个系统的运行情况。故对提高多机飞行仿真系统扩展性的关键技术及其具体实现方法进行研究。

### 1 HLA 概述

HLA 协议主要由对象模型模板 (Object Model

Template, OMT)、规则 (Rules)、运行支撑环境的接口规范 (Interface Specification) 3 部分构成, 如图 1。

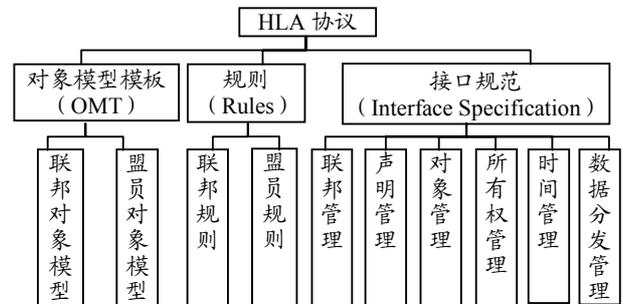


图 1 HLA 协议的框架结构

其中, OMT 用来规定开发联邦所产生的数据可以采用的结构; 规则用来规范联邦执行过程中盟员之间交互所必须遵守的原则和协定; 接口规范指的是盟员和运行支撑环境 (Run Time Infrastructure, RTI) 之间的接口规范, 是用来定义在联邦执行中由仿真系统或 RTI 调用的服务。

RTI 的接口规范包含了 6 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。其中, 声明管理、时间管理和

收稿日期: 2010-02-05; 修回日期: 2010-04-14

作者简介: 张继夫 (1981-), 男, 吉林人, 助理工程师, 从事分布式仿真技术及面向对象仿真技术研究。

数据分发管理是实现系统扩展性的关键内容。

### 2 多机飞行仿真系统联邦

按照 HLA 协议内容，构建多机飞行仿真系统联邦。联邦结构如图 2，该结构中每个子系统之间通过 RTI 进行交互。

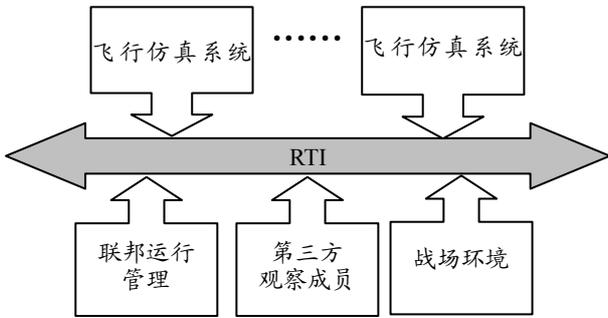


图 2 多机飞行仿真系统联邦的逻辑结构

1) 飞行仿真系统，用来产生飞行仿真实例。每个单独的飞行仿真系统在一个时刻只能产生一个飞机实例；2) 联邦运行管理系统，用来管理联邦的运行，以及盟员的加入或退出，战场环境的设定等工作。该系统区别于 RTI 中的 FedExec（联邦执行）进程，该系统是作为盟员加入到联邦中，通过交换数据来实现控制目的；3) 第三方观察系统，用来记录和演示整个联邦执行过程，即仿真过程，可利用该系统对仿真过程进行评估；4) 战场环境系统，用来设定和生成多机飞行仿真系统联邦的虚拟环境，为其他盟员提供环境数据。除此之外，战场环境系统还要承担计算机生成兵力（Computer Generated Force, CGF）的工作。

可见，除了联邦运行管理、第三方观察系统和战场环境系统这 3 个必备的盟员外，飞行仿真系统盟员是可以随时扩展的，即可任意加入和退出联邦。

### 3 提高扩展性的关键技术

1) 时间同步技术。衡量系统扩展性好坏的重要标准就是整个仿真系统的时间同步程度。为了实现系统内部的时间同步，HLA 协议采用“时间管理”来控制系统的同步状态，时间管理主要采用两种同步机制，即保守同步和乐观同步。保守同步要求事件的处理遵循时戳顺序（Time Stamp Order, TSO），乐观同步在一定程度上可以不受 TSO 的限制，但是必须采用回退机制来恢复失序的事件。

联邦中每个盟员所采用的时间推进机制是相互透明的，因此，这 2 种时间同步机制可以同时并存在一个联邦中。在多机飞行仿真系统中，为了提高

系统的运行速度和观察的流畅性，联邦运行管理盟员、第三方观察盟员以及战场环境盟员均采用乐观同步机制；而飞行仿真系统之间的交互对准确程度要求非常高，为了避免出现一架飞机被“击毁”却依然在系统中存在的情况，在这类盟员中均采用保守同步机制。

在保守同步机制中，盟员可采用 4 种推进请求方式：时间推进请求（TAR）、即时间推进请求（TARA）、下一消息请求（NMR）和即时下一消息请求（NMRA）。RTI 收到盟员的请求后，开始判断时间约束关系是否得到满足，然后，RTI 才将满足条件的消息交由盟员处理。这样，就保证了系统仿真时间的一致性，但增大了消息处理延时，同时，对因意外原因“迟到”的消息，RTI 只能将其丢弃。保守的时间推进方式中时间前瞻量（Lookahead）和最大逻辑时间（Greatest Available Logical Time, GALT）是其实现的有效手段，采用合理的算法来安排 2 个值可以很好地解决延时和同步之间的矛盾。

多机飞行仿真系统联邦中的飞行仿真系统盟员采用“身高测量法”（Stature Measurement）来安排盟员步进的 GALT 值。该方法的实现过程如下：假设联邦中的某个飞行仿真系统盟员  $n$ ，其身高（Stature）被定义为：

$$H(n) = \begin{cases} T(n)+L(n) & TAR/TARA \\ \min\{T(n)+L(n), LETS(n)\} & NMR/NMRA \end{cases} \quad (1)$$

其中， $H(n)$  为盟员  $n$  的身高； $T(n)$  为盟员  $n$  的逻辑时间或请求推进的逻辑时间； $L(n)$  为盟员  $n$  的 Lookahead 值； $LETS(n)$  为盟员  $n$  的消息队列中的最小消息时标。盟员  $n$  通过与其他盟员比较身高来确定它能够推进的 GALT 值，用公式表述如下：

$$GALT(n) = \min\{H(m)\}; \quad n \neq m \quad (2)$$

对于 Lookahead 值的设置，虽然从理论上讲该值越大，整个仿真系统运行的效率就越高，也就具有更好的扩展性，然而在实际的仿真系统中，该值的选取同每个仿真模型的具体内容紧密相关。在多机飞行仿真系统中存在多种类型的飞行仿真系统，模拟了多种型号的飞机，综合考虑各方面的关系后，决定每个飞行仿真盟员选取它的仿真步长为其 Lookahead 值。

2) 数据过滤技术。除了时间同步技术之外，HLA 协议提高系统扩展性的另一个方向就是对系统中的传输数据进行过滤，将不必要传输的数据过滤掉，减少网络负载，进而提高系统的扩展能力。

在具体实现上, HLA 协议中数据过滤工作主要由“声明管理”和“数据分发管理”来完成, 其中, “声明管理”是每一种基于 HLA 协议开发的仿真系统都会用到了数据过滤方式, 缺乏针对性, 数据过滤效果有限; 而“数据分发管理”在使用上非常灵活, 可针对不同的情况选择不同的算法, 过滤效果也非常明显。

在多机飞行仿真系统中, 对每一个单独的飞行仿真系统来说, 其他飞行仿真系统的空情数据都是它感兴趣的数据, 但实际上只有一定范围内的空情数据是有效的, 那些模拟较远距离飞机的数据或某些无法获知的数据在仿真过程中没有必要传送(如图3), 数据过滤的对象就是这些没有必要传送的数据。这种数据过滤的实质就是把每个盟员对于数据传输的需求精确化, 这样就可以减少无用数据的传输和接收, 进而减少网络中的数据流量, 提高仿真系统运行效率。

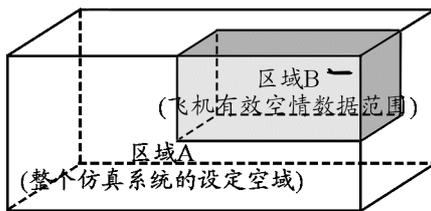


图3 有效空情数据范围示意图

针对多机飞行仿真系统的上述特点, 在数据分发管理中采用比较常见的“网格法”(Based-Grid)。网格法的具体实现方式是先将多机飞行仿真系统设定的整个空域对应为一个三维的路径空间, 然后将路径空间等分成若干小块, 每个小块也是三维的, 这个小块就是网格(Grid)。每个参与到该仿真系统的单个飞行仿真系统, 作为盟员将自己的公布区域和订购区域映射到网格上, 由计算区域是否匹配改为计算区域所属的网格是否匹配, 只有身处于同一个网格的两个飞行仿真系统才可以进行数据交互(如图4), 这样就可以避免将冗余数据发布到网络中。

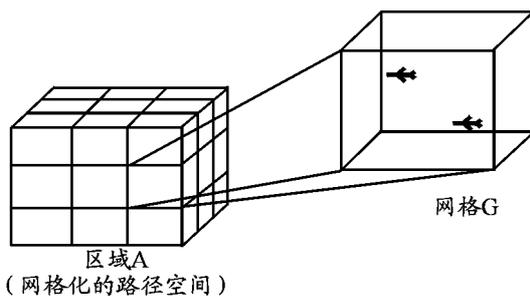


图4 同一网格中的飞机

## 4 结束语

该系统可以实现异地多台飞行模拟器的互联仿真。由于采用了基于 HLA 协议的设计方式, 系统的扩展性得到了显著增强, 为提高复杂大规模仿真系统的扩展性提供了一定参考。下一步, 将研究如何通过优化算法或提出新的扩展技术等方式提高系统的扩展能力。

## 参考文献:

- [1] IEEE Standard No.1516-2000, IEEE Standard for Modeling and Simulation(M&S)High Level Architecture (HLA)-Framework and Rules[S]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2000.
- [2] IEEE Standard No.1516.1-2000, IEEE Standard for Modeling and Simulation(M&S)High Level Architecture (HLA)-Federate Interface Specification[S]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2000.
- [3] IEEE Standard No.1516.2-2000, IEEE Standard for Modeling and Simulation(M&S)High Level Architecture (HLA)-Object Model Template (OMT) Specification[S]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2000.
- [4] 邹庆元, 宋晗, 陈宗基. 多机多编队飞行仿真系统研究和设计[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(4): 677-681.
- [5] 付正军, 王永红. 计算机仿真中的 HLA 技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 6.
- [6] 张家祥. HLA 仿真技术应用教程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 1.
- [7] 齐欢, 代建民, 吴义明. HLA 仿真与 UML 建模[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 4.
- [8] 黄健, 郝建国. HLA 仿真系统综合设计[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2008: 9.
- [9] 姜南, 黄安祥, 李劲松, 李宏图. 基于HLA的军机协同对抗仿真系统网络延时研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(14): 3234-3236.
- [10] 窦志武. 基于高层体系结构分布交互仿真的应用方法研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2009: 3.
- [11] 周彦, 戴剑伟. HLA 仿真程序设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 6.
- [12] 王须刚, 刘世前, 胡士强. 基于HLA和Vega的空空对抗演练仿真系统[J]. 计算机工程, 2009, 35(15): 256-261.
- [13] 刘步权, 王怀民, 姚益平. 一种无死锁的时间管理算法[J]. 软件学报, 2003, 14(9): 1515-1522.
- [14] 林新, 宋焱, 王行仁. 战斗机飞行仿真系统HLA互联系统[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(12): 2751-2753.
- [15] 黄安祥. 现代军机先进仿真技术与工程设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [16] 肖凡, 黄岳, 卢文忠. 空战仿真中综合优势威胁评估新模型[J]. 四川兵工学报, 2009(6): 53-55.