

# 基于HLA/RTI的多无人机编队飞行仿真系统框架<sup>①</sup>

王国丽, 王 琪

(南昌航空大学 信息工程学院, 南昌 330063)

**摘 要:** 为实现多无人机编队的飞行仿真, 提出了多无人机编队的飞行仿真系统设计方案。在对系统需求分析的基础上, 设计了仿真系统的总体组成。以高层体系结构(High Level Architecture, HLA)作为框架, 利用三维可视化建模工具 Creator、视景仿真软件 Vega Prime 和 HLA 仿真支撑平台 RTI, 开发了基于 HLA/RTI 进行分布式仿真的多无人机编队飞行系统框架。RTI 为通信支撑层, 建立了多机实时通信的飞行仿真系统, 由管理者发号施令, 并将飞行结果实时存储, 仿真人员可进行分析, 改进飞行效果。

**关键词:** 飞行仿真; HLA/RTI; 编队飞行; 系统框架

## Multi-UAVS Formation Flying Simulation System Based on HLA/RTI

WANG Guo-Li, WANG Qi

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

**Abstract:** The design of the multi-UAVS and formation simulation system is proposed for realizing the flight simulation of multi-UAVS formation. Based on the research of system requirements, the overall system and structure frame are designed. Following the technique frame of HLA(high level architecture), Using visual modeling tool-Multigen Creator, visual simulation software-Multigen Vega Prime and HLA simulation support plat-RTI, A multi-UAVS formation flying simulation system based on HLA/RTI is designed. RTI is communications support layer, Establish a real-time communication of multi-machine flight simulation system, Receive orders form managers and store the flight results in real time, simulation people can be analyzed the results to improve the flight effect.

**Key words:** flight simulation; HLA/RTI; formation flying; system framework

国外对分布式虚拟现实的研究工作可追溯到 80 年代, 其分布式虚拟现实技术的发展经历了 SIMNET、DIS(Distributed Interactive Simulation)、ALSP(Aggregate Level Simulation Protocol), 目前已经进入高层仿真框架体系结构 HLA(High Level Architecture)的研究阶段。

由于计算机仿真所面对的问题越来越复杂, 仅仅使用单个仿真系统已经无法满足要求, 分布式仿真已经成为计算机仿真领域的发展方向<sup>[1]</sup>。分布式交互仿真技术主要解决两个问题: 第一, 解决规模复杂系统的仿真; 第二, 降低费用<sup>[2]</sup>。由于编队飞行仿真系统是一个复杂分布式仿真系统, 为了实现分布式仿真的重用和互操作, 本文选用高层体系结构 HLA(High

Level Architecture)作为本系统的支撑框架。

### 1 基于HLA的系统框架

运行支撑环境(Run-Time Infrastructure, RTI), 是 HLA 的接口规范。HLA 的核心思想是互操作和重用, 其显著特点是通过运行支撑环境 RTI, 提供通用的、相对独立的支撑服务程序。

以 HLA 的体系结构为基础, 设计整个飞行仿真系统平台。该平台用于生成和分析各种飞行仿真实例, 平台还支持飞行参数结果的分析以及飞行用例的监视等功能。为提高该平台的重用性, 将飞行用例的具体结构封装到联邦的结构定义中, 从而方便了数据结构

<sup>①</sup> 收稿时间:2011-06-03;收到修改稿时间:2011-07-22

的统一修改，并提高了各个邦员间的互操作。

### 2 系统需求与功能

无论是在战场上还是军事演习，编队飞行贯穿了整个空战战术体系，广泛用于执行各种任务。

仿真人员通过管理者邦员对整个仿真系统进行操作，多个飞机仿真邦员能够协同飞行。飞机仿真邦员有自己的全局显示窗口，管理者邦员用来为飞行队伍指定飞行路线及监视整体飞行效果。在编队飞行进行前，需要输入编队类型、飞机型号等信息，该信息发给管理者邦员。

编队飞行的实时数据能够保存在数据库中，供仿真人员及相关人员分析查看，对整个飞行过程进行评估和改进，提高飞行质量。

本系统成员间交互采用 HLA/RTI 分布式体系结构，每个无人机仿真系统作为 HLA 的联邦成员。使用现有的 RTI 软件，开发 RTI 服务接口，使得各个联邦成员能够和 RTI 进行通信，达到整个系统之间数据交互的目的<sup>[3]</sup>。系统框架结构图如图 1 所示：

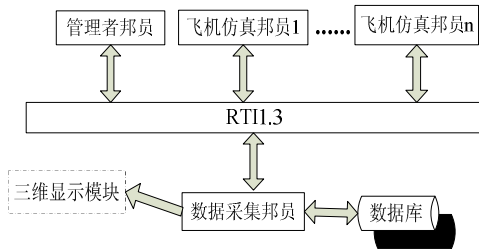


图 1 系统框架结构图

HLA 的运行支撑环境选择 RTI1.3NG；HLA 底层框架则选择与 RTI1.3NG 相对应的 VC++6.0 作为开发环境；选取 Microsoft SQL Server 2005 来存储数据采集邦员采集过来的数据，供相关人员分析查看，对整个无人机编队飞行过程进行评估和改进，从而进一步改善飞行效果，也可以提取采集的结果记录进行回归测试；三维显示模块是独立出来单独开发的，在一台专用设备上进行显示，为三维显示模块开发 UDP 接受模块，通过该模块与 HLA 分布式系统的数据采集邦员进行通讯，实时观看整个无人机编队飞行的全局效果，该模块是通过采用 Multigen Creator Pro 2.5.1/Vega Prime 2.2 开发用于显示仿真结果的三维、实时、视景模型和视景运行场景的配置和驱动，采用 Microsoft

Visual Studio 2003 作为开发工具。

这种“飞行仿真系统+HLA”的组合结构正是本飞行仿真系统的总体设计方案。飞行仿真平台的主要功能就是生成飞行仿真数据，发送数据并分析编队飞行效果，而 HLA 的底层框架将这些模块以联邦成员的形式独立出来，从而提升了他们的重用性。

### 3 基于HLA/RTI的编队飞行系统的设计

为了有效地促进基于 HLA 的仿真系统的开发和执行，DMSO 提出了 HLA 联邦模型的开发和执行的标准过程 FEDEP(Federation Development and Execute Process Model)，使联邦模型的开发过程实现标准化<sup>[4]</sup>。如图 2 所示

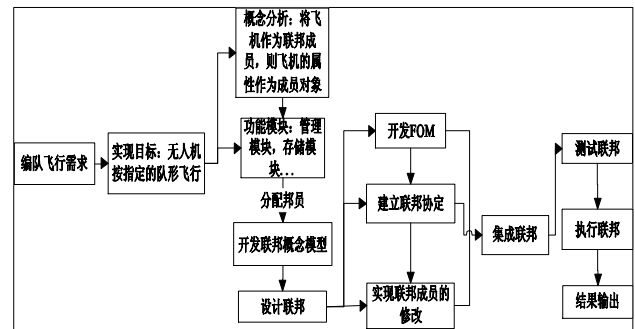


图 2 FEDEP 模型流程图

#### 3.1 定义联邦目标

基于 HLA/RTI 的无人机编队飞行仿真系统旨在构建一个可重用，可移植的技术平台，根据需要对整个飞行过程进行模拟，从而提高各无人机协同操作的能力。主要设备为仿真计算机和三维显示计算机<sup>[5,6]</sup>。

#### 3.2 开发联邦概念模型

基于 HLA/RTI 的无人机编队飞行仿真系统主要完成的任务是无人机在空中按一定的队形进行作业，数据采集邦员动态接受各无人机的实时坐标，当无人机间距小于或大于某一阈值的时候，便会为无人机发出警告。同时管理者邦员可以向每架无人机传送飞行路线，可动态接受任务安排。

#### 3.3 设计联邦

根据“联邦想定”、联邦概念模型和系统请求，确定联邦成员的构成，个联邦成员的对象信息和交互信息，制定出联邦开发计划。数据采集邦员向 RTI 订阅编队飞机的相关参数数据，成员对象包括飞机编号、

飞机速度、飞行位置、飞行时间、飞行姿态、编队类型等。

### 3.4 开发联邦

这一步的目的是开发联邦对象模型(FOM)和成员对象模型(SOM),必要时,修改联邦成员,为联邦集成测试做准备。可采用对象模型开发工具(Object Model Development Tool,OMDT)。在本仿真系统中,每个联邦成员的公布/订购能力有所不同,首先采用面向对象的分析和设计方法(OOAD)对系统进行分析,建立系统对象模型。然后确定成员对象类/交互类的公布能力、订购需求,最后确定仿真系统对属性的公布能力和订购需求。飞机实体信息交互类发布订阅如表 3 所示:

表 3 无人机实体信息交互类发布订阅

联邦成员名	订购对象类	公布对象类	公布对象属性	订购对象属性
飞机仿真 邦员 1	同队飞机实体对象、管理邦员任务发布对象	飞机类	经度、纬度、高度 速度、偏航角、俯仰角、翻滚角、航向	大气属性、风属性
飞机仿真 邦员 2	同队飞机实体对象、管理邦员任务发布对象	飞机类	经度、纬度、高度 速度、偏航角、俯仰角、翻滚角、航向	大气属性、风属性
...	...	...	...	...
管理邦员	全体飞机实体对象	任务发布对象	飞行路线、阵型	飞机各种属性
数据采集邦员	全体飞机实体对象、管理邦员任务发布对象			飞机各种属性

### 3.5 FED 文件的设计

FED 文件是联邦对象模型开发的结果,是所有联邦之间为交互(互操作)目的而达成的“协议”。联邦执行期间,所有参加联邦交互的对象/属性及其交互类/参数、传输类型、传输数据以及路径空间信息都记录其中。RTI 将根据 FED 文件提供的联邦执行的细节数据创建相应的联邦执行。以下是本文针对现代飞机编队飞行仿真系统总结出来的数据结构所使用的 FED 文件片段<sup>[7,8]</sup>。

```
(interactions
(class InteractionRoot reliable timestamp
(class RTIprivate reliable timestamp)
(class Plane best_effort receive
(parameter time )
( parameter delayAdded )
( parameter status_longitude )
```

```
( parameter status_latitude)
(parameter altitude)
(parameter courseAngle)
(parameter status_pitchingAngle)
(parameter status rollAngle)
(parameter status_xVelocity)
(parameter status_yVelocity)
(parameter status_zVelocity)
(parameter status_speed)
(parameter status_track)
)
```

可见,通过增加或修改 FED 文件中的结构描述,然后设计一个相对应的用例生成方式,即可实现该平台的二次开发。

## 4 RTI1.3软件环境

RTI1.3-NG 是有 DMSO 主持开发的,实现了 HLA 接口规范 1.3 版本的所有服务。主要由 RTI 全局执行进程 RtiExec、联邦执行进程 FedExec、LibRTI 库组成,其结构图如图 4 所示:

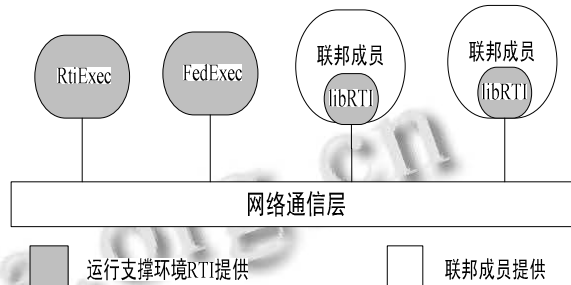


图 4 运行支撑环境 RTI 组成

### 4.1 联邦成员的功能实现

联邦成员模型的内容主要包括两个部分:联邦成员交互模型和运行逻辑。运行逻辑是实体自身行为特征的模型的执行体。交互模型描述系统中各实体间的交互作用,它基于 HLA/RTI 的 FOM,SOM 表,按照 HLA/RTI 的接口规范进行说明。这两部分有机的结合在一起,组成一个联邦成员,完成特定的仿真任务。

本分布式框架中个联邦成员的底层都要统一的设计,它们都拥有相同的运行流程,运行流程图如图 5 所示:

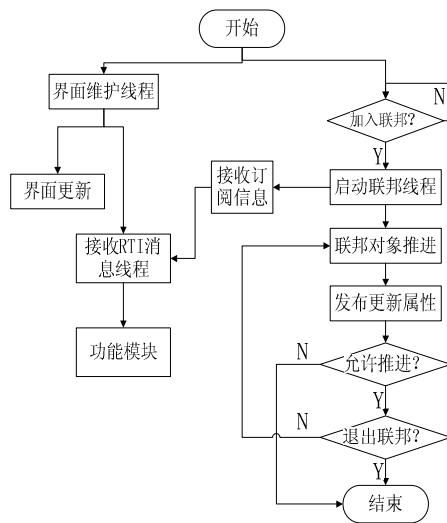


图5 联邦成员运行流程图

## 5 结论

空中无人机编队飞行对于表演和战争都是十分重要的内容之一,本文提出并设计了基于HLA的无人机编飞行仿真系统结构框架,设计出了一个具有良好互操作性以及开放性的仿真平台原型系统,实现了多机编队飞行。

(上接第80页)

## 5 结语

干涉条纹计数实验软件可完成条纹移动计数功能,并能动态跟踪移动条纹的位置,有利于实验中突发的故障处理。实验效果表明该系统完全可应用于光学干涉实验的数据采集和处理。

## 参考文献

- 1 邹伟金.高精度激光干涉条纹中心及半径提取的方法研究.电光与控制,2010,12(17):53-56.
- 2 陈凤超.干涉直条纹周期测量及其在位相检测中的应用.激光技术,2008,2(32):105-108.
- 3 曾金根.CCD等厚干涉实验仪的研究.实验室研究与探索,2003,6(22):55-57.
- 4 刘廷禹.等厚干涉条纹的数据处理.上海理工大学学报,199,1(21):77-80.
- 5 吴东楼.干涉条纹的处理方法研究.光学学报,199,1(1):45-49.
- 6 基于FPGA的重力仪干涉条纹和时间间隔计数.计量学报,2010,31(6):530-532.
- 7 Microsoft Corporation. Msdn Library http://msdn.microsoft.com,2002-06.

## 参考文献

- 1 刘璟,郑建华,张皓.基于HLA的小卫星编队飞行分布式仿真.计算机仿真,2010,27(5):66-70.
- 2 夏丰领,赵育善.基于HLA的航天任务仿真系统.系统仿真学报,2007,19(24):5710-5714.
- 3 贺涛,谢军,王文娟,李月娟.基于Multigen的无人机任务飞行仿真系统.计算机工程,2010,36(1):248-250.
- 4 马胜辉,杨艾军,张勇.基于HLA/RTI的无人机作战仿真系统框架设计.电脑知识与技术,2009,10(5):267-270.
- 5 郝江波,宋星.基于HLA的分布交互仿真应用系统开发研究.系统仿真学报,2000,12(5):481-483.
- 6 朱战霞,袁建平.无人机编队飞行问题初探.飞行力学,2003,21(2):5-7.
- 7 邹庆元,宋晗,陈宗基.多机多编队飞行仿真系统研究和设计.系统工程与电子技术,2008,30(4):677-681.
- 8 夏丰领,赵育善.基于HLA的航天任务仿真系统.系统仿真学报,2007,19(24):5710-5714.
- 9 High Level Architecture Run-Time Infrastructure Programmer's Guide RTI 1.3,Version 6.Defense Modeling and Simulation Office,12 March 1999.
- 10 Multigen-Paradigm Inc.Vega Prime Programmer's Guide Version2.0.2000.

- 8 Gonzalez RC, Woods RE.Digital Image Processing.2nd ed.北京:电子工业出版社,2006.
- 9 Grana C, Borghesani D, Cucchiara R. Connected Component Labeling Techniques on Modern Architectures. Image Analysis and Processing,2009,5716:816-824.
- 10 AbuBakerl A, Qahwajil R, Ipsonl S, Saleh M. One Scan Connected Component Labeling Technique. 2007 IEEE International Conference on Signal Processing and Communications (ICSPC 2007), 2007:1283-1286.
- 11 Chang F, Chen CJ. A component-labeling algorithm using contour tracing technique 7th International Conference on Document Analysis and Recognition, 2003:741-745.
- 12 Suzuki K, Horiba I, Sugie N. Linear-time connected-component labeling based on sequential local operations. Computer Vision and Image Understanding, 2003,(89)1: 1-23.
- 13 Kesheng Wu, Ekow Otoo, Kenji. Suzuki. Optimizing two-pass connected-component labeling algorithms.Pattern Anal Applic(2009)12:117-135.