

doi: 10.7690/bgzdh.2020.05.011

无人机协同目标跟踪分布式仿真

郑晨明, 张 民

(南京航空航天大学自动化学院, 南京 211106)

摘要: 为解决无人机进行协同实验高成本和高风险的问题, 设计一种基于高层体系结构 (high level architecture, HLA) 分布式无人机协同目标跟踪仿真系统。根据 HLA 分布式仿真的组成及技术特点, 构建仿真联邦的组织架构和仿真成员之间的模型同步, 对 HLA 的无人机仿真系统进行设计, 分别对系统的数据交互和模型同步 2 个关键技术进行分析, 并通过仿真实验验证。仿真结果表明: 该系统降低了程序设计的复杂性, 提高了同步性能, 具有一定的实用价值。

关键词: 高层体系结构; 无人机协同; 目标跟踪; 模型同步

中图分类号: TP24 **文献标志码:** A

Distributed Simulation of UAV Cooperative Target Tracking

Zheng Chenming, Zhang Min

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 211106, China)

Abstract: In order to solve the problem of high cost and high risk in UAV cooperative experiment, a distributed UAV cooperative target tracking simulation system based on high level architecture (HLA) is designed. According to the composition and technical characteristics of HLA distributed simulation, the organizational structure of simulation federation and the model synchronization among simulation members are constructed. In the design process of HLA UAV simulation system, 2 key technologies of data interaction and model synchronization are analyzed and verified by simulation experiments. The simulation results show that the system reduces the complexity of programming design, improves the synchronization performance, and has a certain practical value.

Keywords: HLA; UAV collaboration; target tracking; model synchronization

0 引言

随着计算机技术和信息技术的飞速发展, 分布式仿真已经成为计算机仿真领域的发展方向。分布式仿真技术的发展经历了仿真器网络 SIMNET (simulation network)、分布交互仿真 DIS (distributed interactive simulation) 和聚集级仿真 ALSP (aggregate level simulation protocol) 3 个阶段, 目前已经进入高层体系结构 HLA 的研究阶段^[1-2]。

关于 HLA 分布式仿真技术的应用, 王国丽等^[3]提出了一种基于 HLA/RTI 的多无人机飞行仿真系统框架; 魏丽等^[4]提出了一种基于 HLA 的无人机飞艇系统仿真设计方案; 南银波等^[5]提出了一种基于 HLA 的反潜巡逻机浮标搜潜模型仿真设计。

笔者以无人机协同目标跟踪为研究对象, 基于 HLA 分布式仿真的技术特点, 设计了一种简单且便于开发扩展的无人机协同目标跟踪分布式仿真系统, 并对其中的关键技术进行分析, 验证方案的可行性。

1 HLA 仿真技术

HLA 是一种仿真技术体系结构。它在 1995 年 10 月由美国国防部发布, 并于 2000 年成为 IEEE1516 标准, 最终目标是通过仿真应用间的数据交互标准, 实现各个仿真系统间的松耦合, 提高仿真之间和仿真组件间的复用功能^[6]。HLA 由规则 (rules)、对象模型模板 (object model template, OMT) 和运行支撑系统 (run-time infrastructure, RTI) 3 部分组成。

HLA 是 1995 年 3 月美国国防部发布的建模与仿真大纲中的一个目标。HLA 已经成为新一代的分布式交互仿真体系, 其最终目标是通过仿真应用间的数据交互标准, 实现各个仿真系统间的松耦合, 提高仿真之间和仿真组件间的复用功能。如图 1 所示, HLA 是一个开放且能够支持面向对象的技术体制, 它利用提供通用、相对不受约束的支撑服务程序, 可以把应用系统模块同底层框架系统 2 部分功能分离开, 也就是把详细的仿真功能实现、仿真运

收稿日期: 2019-12-31; 修回日期: 2020-01-13

基金项目: 航空科学基金 (20181352010)

作者简介: 郑晨明 (1993—), 男, 河南人, 硕士, 从事无人机飞行控制、编队协同仿真研究。E-mail: 605520339@qq.com。

行管理和底层数据交互三层隔开，隐藏各部分的实现详情^[7]。

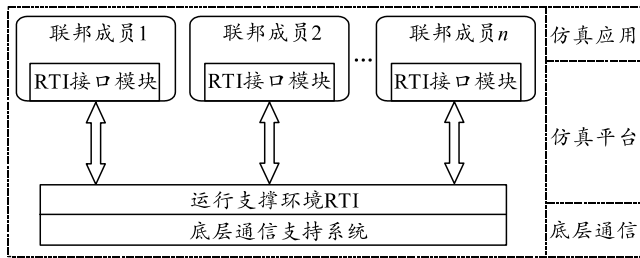


图 1 HLA 分布式仿真体系结构

2 仿真系统设计

2.1 仿真系统组成

无人机协同目标跟踪仿真系统由目标成员、4架无人机模型成员、4架无人机飞控成员、2维航迹显示成员和遥控遥测成员组成，共计 11 个成员。其整体的结构如图 2 所示。

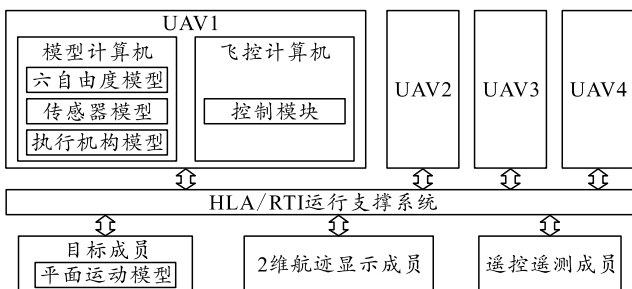


图 2 无人机协同目标跟踪仿真系统结构

无人机协同目标跟踪仿真系统由目标成员、4个无人机成员、2维航迹显示软件成员、3维视景显示软件成员、遥控遥测软件成员构成。其中，无人机成员由无人机模型成员和无人机飞控成员组成，二者通过共享内存方式直接通信。目标成员订购遥控遥测软件成员发出的指令，发布其位置信息；无人机成员订购遥控遥测软件成员发出的上行数据，发布下行数据和机间链数据；2维航迹显示软件和3维航迹显示软件订购无人机的下行数据帧和目标的下行数据帧。

2.2 仿真成员

1) 目标成员：目标成员模拟地面目标运动，订购遥控遥测成员的控制指令，按照预设的轨迹开始移动；发布自身的位置信息。

2) 无人机模型成员：模拟无人机六自由度模型和多种传感器模型，与无人机飞控成员通过共享内存传输数据。

3) 无人机飞控成员：订购遥控遥测成员的上行数据，包括飞行指令和飞行航路数据；发布无人机

自身的下行数据和机间链数据，包括经纬度信息、姿态信息和执行机构信息。

4) 遥控遥测成员：规划无人机编队航路路径，发布上行数据和目标运动指令；订购无人机飞控成员的下行数据，并将其解析并显示在界面上。遥控遥测成员的运行界面如图 3 所示。

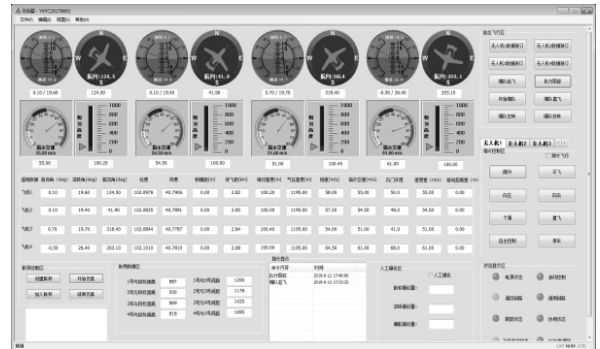


图 3 遥控遥测成员运行界面

5) 2维航迹显示成员：接收目标成员和无人机飞控成员发出的下行数据，将它们的位置信息实时显示在 2 维地图上。2 维航迹显示成员的运行界面如图 4 所示。



图 4 遥控遥测成员运行界面

2.3 联邦模型设计

HLA 是一个开放的体系结构，主要目的是促进仿真系统间的互操作，提高仿真系统及其部件的重用能力。为了达到这一目的，HLA 要求采用对象模型(object model)来描述联邦及联邦中的每一个联邦成员，该对象模型描述了联邦在运行过程中需要交换的各种数据及相关信息。HLA 规定必须使用统一的表格——OMT 来规范对象模型的描述，是 HLA 实现互操作和重用的重要机制之一。

在 HLA OMT 中，HLA 定义了 2 类对象模型：一类是描述仿真联邦的联邦对象模型(federation object model, FOM)；另一类是描述联邦成员的成员对象模型(simulation object model, SOM)。笔者设计的仿真联邦对象模型的属性如表 1 所示。

表 1 仿真联邦对象模型的属性

交互类	属性	描述
upload	upload_uav1_lsl	UAV1 离散量数据帧
	upload_uav1_hlzd	UAV1 航路装订数据帧
	upload_uav2_lsl	UAV2 离散量数据帧
	upload_uav2_hlzd	UAV2 航路装订数据帧
	upload_uav3_lsl	UAV3 离散量数据帧
	upload_uav3_hlzd	UAV3 航路装订数据帧
download	upload_uav4_lsl	UAV4 离散量数据帧
	upload_uav4_hlzd	UAV4 航路装订数据帧
	download_uav1	UAV1 下行数据帧
	download_uav2	UAV2 下行数据帧
	download_uav3	UAV3 下行数据帧
	download_uav4	UAV4 下行数据帧
Commamong-uavs	uav1_data	UAV1 机间链数据
	uav2_data	UAV2 机间链数据
	uav3_data	UAV3 机间链数据
	uav4_data	UAV4 机间链数据
	target_data	目标成员数据

2.4 平台开发环境

1) 硬件开发环境。

百兆以太网：使用 TP-LINK 多功能宽带路由器搭建局域网络；

PC 终端：7 台 PC 电脑。

2) 软件开发环境。

操作系统：Windows 7；

开发软件：Visual Studio 2010/C++；

2 维航迹显示软件地图插件：Arcgis Engine 10.2；

HLA/RTI 软件：北航 RTI-2.3；

联邦模型开发工具：OMDT 13v5。

3 仿真系统关键技术

笔者设计的关键技术包括数据交互和模型同步 2 部分。在系统方案中，4 架无人机的飞控软件需要和目标成员、遥控遥测成员、2 维航迹显示成员进行数据交互；4 架无人机成员的模型软件和飞控软件需要使用统一的外部时钟进行时钟同步。同步结构如图 5 所示。

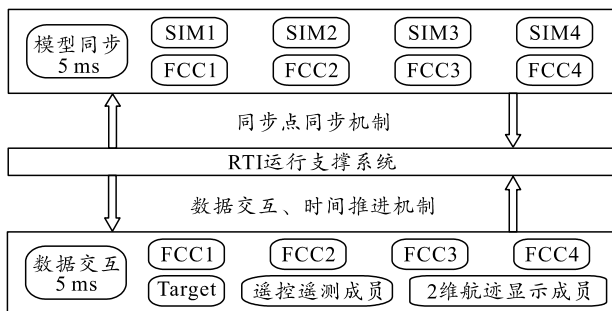


图 5 仿真联邦中的模型同步和数据同步结构

3.1 数据交互

仿真联邦中的数据交互如图 6 所示。基于 HLA

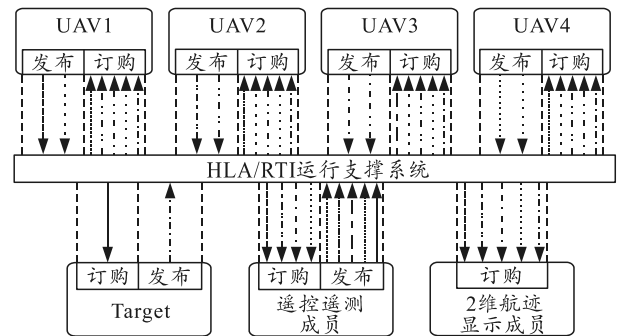
分布式仿真联邦中的数据交互情况如下：

1) 遥控遥测成员发布无人机成员和目标成员的上行数据，订购无人机成员的下行数据。其中无人机成员所需的上行数据包括指令数据和航路数据，对应不同的任务模式，目标成员所需的上行数据只有指令数据。

2) 无人机成员发布自身的下行数据和机间链数据，订购遥控遥测软件发布的上行数据、其余无人机发布的机间链数据、目标成员发布的下行数据。无人机成员通过下行数据实时传递自身的位置信息、姿态信息、传感器信息和执行机构信息等，通过机间链数据与其他无人机分享自己的位置信息、姿态信息，进行编队保持和编队重构。

3) 目标成员发布自身的下行数据，订购遥控遥测发布的上行数据。目标成员发布的下行数据包括目标的位置信息和航向信息。

4) 2 维航迹显示成员不发布信息，订购无人机成员发布的下行数据和目标成员发布的下行数据。



目标上行数据：—▶ UAV1 上行数据：- - -▶ UAV2 上行数据：- - -▶
 目标下行数据：- - -▶ UAV1 下行数据：—▶ UAV2 下行数据：- - -▶
 UAV1 机间链数据：- - -▶ UAV2 机间链数据：- - -▶
 UAV3 上行数据：- - -▶ UAV4 上行数据：- - -▶
 UAV3 下行数据：- - -▶ UAV4 下行数据：- - -▶
 UAV3 机间链数据：- - -▶ UAV4 机间链数据：- - -▶

图 6 仿真联邦中的数据交互

3.2 模型同步

基于“局部同步点”的联邦成员同步方式。在仿真联邦中，无人机成员包括模型成员和飞控成员。为获得较好的同步性，需要把各无人机成员的模型时钟和飞控时钟同步化，使用统一的外部时钟，为各仿真成员提供基准时间^[8]。

仿真联邦中的模型同步逻辑如图 7 所示。这种方法可以使需要模型同步的联邦成员参与同步，而其他成员不受限制，实现步骤如下：

1) 首先由发起同步的联邦模型声明参加同步的联邦成员的句柄集合。联邦成员的句柄在整个 HLA 联邦中是唯一的，是联邦成员的标示符，通过

激活计入联邦服务，由 RTI 分配。

2) 然后发起同步的联邦成员向 RTI 注册局部同步点。若同步点注册成功，该成员会收到 RTI 关于同步点注册成功的回调函数，所有集合中的联邦成员均会同收到 RTI 的同步点宣告函数。

3) 收到 RTI 的同步点宣告函数后，各个联邦成员开始执行自身的模型函数。执行完毕后，向 RTI 宣告达到同步点。

4) 当参与同步的所有联邦成员均向 RTI 宣告到达同步点后，RTI 向各联邦成员发回“联邦已同步”的回调函数。至此，同步点的生命周期结束，RTI 会自动删除该同步点。

5) 判断仿真是否结束，如仿真继续，则发起同步的联邦成员会继续 1)–4)。通过设定固定的注册频率，可以使集合中的所有联邦成员完成模型同步。

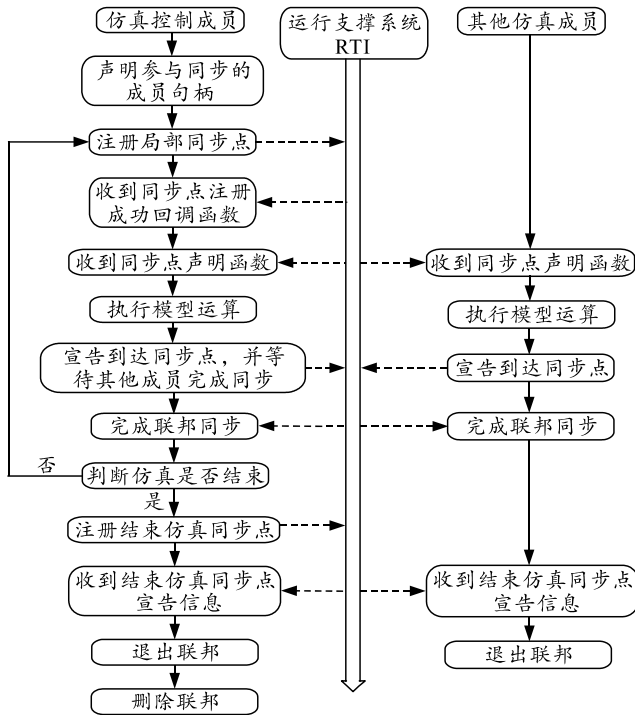


图 7 仿真联邦中的模型同步逻辑

4 仿真实现效果

仿真联邦中的模型同步情况如表 2 所示。

表 2 仿真联邦中模型同步情况

成员	运行时间/ms	模型运算次数	模型运算占比/%
SIM1	713 531	142 324	100.00
SIM2	713 717	142 324	100.00
SIM3	713 603	142 324	100.00
SIM4	713 738	142 324	100.00
FCC1	713 417	142 258	99.95
FCC2	713 481	142 324	100.00
FCC3	713 468	142 258	99.95
FCC4	713 503	142 258	99.95

以 UAV2 接收 UAV1 的机间链数据为例，数据

交互的延迟情况如图 8 所示。

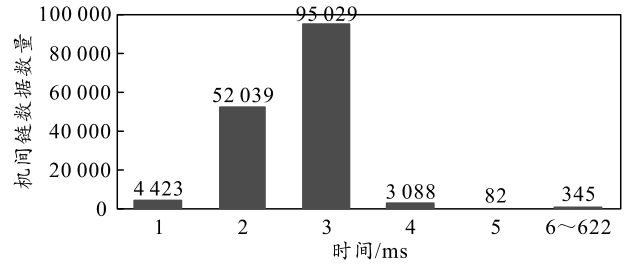


图 8 数据交互的延迟情况

整体的无人机协同目标跟踪仿真效果如图 9、图 10 所示。



图 9 编队保持

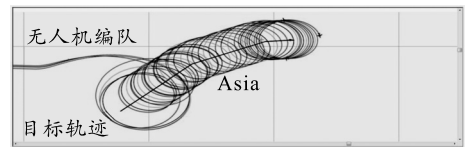


图 10 协同跟踪

5 结论

笔者设计的基于 HLA 的无人机协同目标跟踪仿真系统将模型同步和数据交互分隔开，降低了程序设计的复杂性，提高了同步性能，降低了数据延迟，具有良好的扩展性，适合团队协作开发。

参考文献:

- [1] 王国强, 罗贺, 胡笑旋. 无人机编队协同任务规划仿真系统研究[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(8): 1856–1862.
- [2] 石小林, 栾文博. 基于 HLA 的载人航天器飞行任务仿真平台研究与实现[J]. 航天器环境工程, 2016, 33(1): 28–34.
- [3] 王国丽, 王琪. 基于 HLA/RTI 的多无人机编队飞行仿真系统框架[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(2): 26–29.
- [4] 魏丽, 王晓钧, 冯玉宾. 无人飞艇系统仿真研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2007, 2(2): 173–179.
- [5] 南银波, 曾广荣. 基于 HLA 的反潜巡逻机浮标搜潜模型仿真框架结构设计[J]. 国外电子测量技术, 2017, 36(5): 78–80.
- [6] 周彦, 戴剑伟. HLA 仿真程序设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 11–13.
- [7] 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: 3–6.
- [8] 冯媛, 任宝祥, 王谦喆, 等. 基于 SKF 多传感器融合的无人机航迹规划[J]. 兵工自动化, 2019, 38(2): 45–49.