

# 针对飞行器的 Muti-Agent 仿真测试床的设计与实现

周 炜<sup>1</sup> 魏瑞轩<sup>1,2</sup>

(空军工程大学工程学院 西安 710038)<sup>1</sup> (西安交通大学 西安 710049)<sup>2</sup>

**摘 要** 飞行器的 Muti-Agent 测试床是研究多无人机协同算法的重要平台。首先基于 HLA 标准完成了测试床构架的总体设计,然后通过测试床软件体系结构设计、运行流程设计、接口设计 3 个方面完成了整个系统的详细设计,最后通过使用 VC++ 作为开发工具,采用地形 LOD、MAPX 控件、飞行器系统建模等方法实现了针对飞行器的 Muti-Agent 分布式三维仿真测试床。仿真实例表明,该系统具有较强的通用性和逼真性。

**关键词** 多无人机系统,测试床,HLA,仿真,智能体

**中图分类号** TP391.9 **文献标识码** A

## Design and Implement of UAVs Testbed Based on 3D Environment

ZHOU Wei<sup>1</sup> WEI Rui-xuan<sup>1,2</sup>

(Engineering Institute of Airforce Engineering University, Xi'an 710038, China)<sup>1</sup>

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)<sup>2</sup>

**Abstract** This paper described recent research on the design and implement of Muti-Agent testbed for UAVs cooperative control experiment in order to improve the reality and universality based on 3D environment. First, the testbed architecture was designed by HLA standard. Secondly, the specification was implemented from three step including software system architecture design, runnable flow design, interface design, the system was implemented using VC++ tool, LOD algorithm, MAPX and UAV model. The system was proved reality and universality by simulation.

**Keywords** UAVs, Testbed, HLA, Simulation, Agent

当前无人飞行器的发展,正在由“以平台为中心”的传统模式向“多无人飞行器协同”的模式转变<sup>[1]</sup>。通过智能体飞行器的协同可以完成单个平台所不能完成的一些复杂任务,并可以提高执行任务的效率。但是由于无人机具有智能性,多无人机系统就构成了一个多智能体系统(Muti-Agent System, MAS),针对上述系统仿真、实验、测试、评价比较困难的问题,必须建立一个针对飞行器的 Muti-Agent 测试床。Muti-Agent 测试床一直是 MAS 的研究热点问题之一。TH-Soccer 是大家非常熟悉多智能体系统的测试床,其仿真平台是一个足球世界杯仿真器(RoboCup Soccer Simulator),包括 4 个组件:最简单的智能体例程、仿真比赛监视程序、仿真比赛重播程序和仿真比赛服务器程序。它可以实现动态不确定的对抗环境下的多智能体合作、实时推理、机器学习和策略获取等当前人工智能的热点问题的仿真和测试。但是其主要缺点是其仿真测试对象是足球比赛,不能具体针对别的研究对象。Nolle. L. 等针对分布式黑板系统(distributed blackboard system)体系结构的测试床,为在不同的处理器上建立实现分布式智能体仿真提出了一个较好的解决办法,但该方法主要是面对二维仿真,而且是针对多飞行器测试床提出的具体解决办法。Vladimeros Vladimerout 针对 Hovercraft 的分散及

协调控制提出了一个半物理仿真的测试床,该方法主要是模拟无线通信和网络传感器<sup>[3]</sup>。Robert L. Popp 针对作战的指控系统、监视系统提出了一个仿真测试床的设计方法。该测试床包括 3 个组件:1)针对数据、控制、通信的事件组件;2)存储数据的数据库组件;3)逼真显示图形的人机交互组件,其主要目的是模拟敌方移动目标的多维信息,提供给作战指挥系统。该方法对多无人机指控系统的仿真有指导意义,但是不够全面。Timothy W. 等针对太空传感器编队控制提出了一个仿真测试床,其仿真的目的是实现编队导航。这种方法可以借鉴到多无人机系统仿真测试床上来,但是需要修改。Timothy W. 针对无人机的协同、控制方法的仿真实验提出了多无人机系统测试床设计方法,使用购买的无人驾驶仪和相关的硬件进行多无人机系统的仿真,该方法的优点在于测试的算法可以迅速投入实用,但同三维仿真平台比较,其测试条件受限及很多预想的环境不能进行构建,测试不完全,并且其测试主要是针对小无人机系统,而且费用高昂。Ellis King 介绍了两种由 MIT 设计的仿真测试床 RoverEllimp Testbed 和 UAV Testbed,并使用这两种仿真测试进行了实时航迹规划和任务规划方面的仿真实验和测试。这两种测试床有着共同的缺点:1)通用性差,设计的时候只是针对某一个特定环境、

到稿日期:2009-05-06 返修日期:2009-07-01 本文受国家高技术研究发展计划(863 计划),国家自然科学基金(60304004)资助。

周 炜(1983-),男,博士,主要研究方向为三维地形可视化、多智能体系统, E-mail:3811735@qq.com;魏瑞轩(1968-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为非线性系统、系统建模与仿真。

特定的航迹规划和任务规划;2)仿真结果不逼真,不能实时三维显示。William M. Niland<sup>[8]</sup>针对压制敌方任务防御(Suppression of Enemy Air Defense)提出了多无人机的测试床,用户使用起来较为便捷,但该测试床测试的算法较为单一,用户不能够灵活改变协同任务。本文将采用 HLA 的设计标准针对多无人机系统设计并实现了通用的、能逼真三维仿真的分布式多智能体测试床,实验测试人员只需知道多无人机系统测试床的接口,就可以实现对多无人机协同算法的仿真、实验和测试。

## 1 针对飞行器的 Muti-Agent 测试床的总体设计

多无人机系统协同的目标<sup>[9]</sup>是通过一定的算法实时求解出每个无人机的航迹和任务集合。该算法应该满足:1)实时在线的完成;2)能够适应环境的变化;3)能够避开障碍;4)能够在不确定的环境生成可用的航迹;5)能够处理移动和突发意外的目标。那么飞行器的 Muti-Agent 测试床应该能够根据该算法的特点对上述算法进行仿真实验和测试。由于 HLA(High Level Architecture) 是目前的分布交互仿真标准,它通过提供一个开放的体系结构,实现不同仿真应用的重用与互操作,支持用户分布、协同地开发复杂仿真应用系统,并最终降低开发新应用系统的成本和时间,因此本文采用 HLA 标准来设计该系统,针对模拟和真实多无人机的协作提供真实的战场环境仿真。图 1 描述了基于 HLA 的测试床的框架和功能组件。测试床包括以下几个主要组件:真实的或仿真的 UAV 组件;多无人机虚拟地面控制站组件;三维环境仿真组件;通信网络仿真组件;协作算法接口组件;己方任务及敌方威胁组件;算法测试评价组件。其中 UAV 组件主要是模拟 UAV 的真实飞行过程;虚拟地面控制站组件主要是模拟多机地面站控制与指挥系统;通信网络仿真组件主要模拟无人机与地面站、地面站与 ISR 平台、指控系统、无人机之间的通信过程;协作算法接口组件主要是为设计的协作算法提供接口;己方任务及敌方威胁组件主要是模拟自己的任务和敌方威胁环境的信息;算法测试评价组件主要是对设计的协作算法进行评估评价。

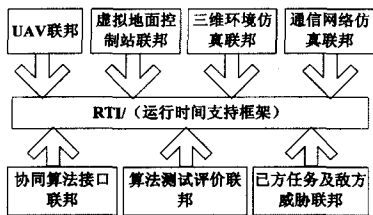


图 1 基于 HLA 的测试床框架

## 2 针对飞行器的 Muti-Agent 测试床软件详细设计及实现

### 2.1 测试床软件体系结构设计

上面的设计框架,考虑到各工作站计算量的均衡性和操作的便捷性,其设计结果如图 2 所示。首先可以将 UAV 虚拟控制站联邦和目标任务的设置、敌方威胁设置的界面置于同一个工作站。同时为了便于敌方威胁和目标设置,应将二维数字地图及威胁数据库置于该工作站;而另外一个三维仿真环境工作站将用来进行三维显示,那么该工作站应该包含三维地形的高程数据库和纹理数据库,若要完成真实的环境

模拟还必须加入雨雪等自然气候仿真模块;同时应该建立无人机三维模型库,预留无人机位置信息及姿态信息等飞参信息的接口模块以便三维交互显示各种无人机,及从各个不同的视角进行观察;同时应该建立一个工作站进行 UAV 飞行控制系统仿真和动力学仿真,而进行动力学仿真必须建立大气数据库和各种无人机气动模型数据库。最后设计一个工作站来完成多 UAV 飞行参数的综合显示和通讯网络仿真。各个工作站之间采用局域网互连通讯。

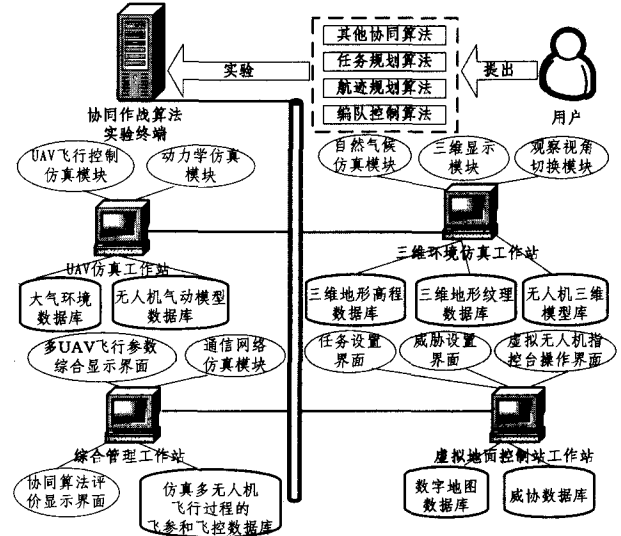


图 2 多无人机系统测试床的软件结构设计图

### 2.2 测试床运行流程

根据测试床的结构设计图、多无人机系统的飞行特性、无人机协同仿真的真实飞行过程,设计无人机测试床的运行流程如下:

- 1) 用户通过任务设置界面和威胁设计界面给出目标任务;
- 2) 通过用户给定的算法及威胁数据库求解每架无人机的航迹点序列,并通过威胁界面设置意外威胁,进行实时的规划;
- 3) 将航迹点的信息发送给飞行控制仿真模块;
- 4) 通过调用无人机气动模型数据库和大气环境数据库的该无人机的气动模型和当前的大气环境解算出该飞行器与时间相关的飞行参数信息,同时得出与时间相关的控制量信息;
- 5) 将所有飞机的飞参信息和飞机型号发送给三维仿真环境工作站和数字地图;
- 6) 三维仿真环境工作站通过调用三维地形高程数据库和三维地形纹理数据库的地形数据、每个无人机的三维模型、自然气候仿真模型、观察视角实现实时的三维仿真显示,在显示过程可实时改变观察;
- 7) 根据飞行参数,在数字地图上真实跟踪飞行过程;
- 8) 仿真结束后,对该协同算法进行评价,并将评价结果显示在 UAV 仿真工作站的界面上;
- 9) 将每个无人机在整个飞行过程中的飞行参数和飞行控制记录下来写入文件,生成多无人机飞行参数及飞行控制参数的文件数据库。这些数据将提供整个多无人机系统的飞行过程的回放。

### 2.3 测试床接口设计

作为一个仿真软件,各个工作站及各个模块相互之间必须传递数据,那么各个模块将预留一定的数据接口,因此各个

数据接口格式的定义将是进行测试床实现之前的重要设计步骤,各个工作站的接口定义如下:

#### 1) 协同作战算法终端接口

协同作战算法终端应该实时或静态输出规划的飞行参数的结果曲线,所以输出模块的接口给出的将是每个无人机的—些离散的飞行参数数据集合,由于无人机自动控制固定的间隔飞行,离散的时间间隔应该较大;输入模块应该给出数字地图的信息和威胁信息。

#### 2) 三维工作站接口

三维工作站要想进行实时显示,它就应该包含每秒 25 帧以上的输入接口,那每帧的数据格式将由飞机的型号、每架飞机的飞行参数数据组成;而其输出接口应该给出地形的数据信息。

#### 3) UAV 工作站接口

UAV 工作站接口包含输入接口和输出接口,输入接口将协同算法规划出来的曲线离散点形成飞机飞行参数数据点的集合,但是由于一般飞行控制需要时间,因此该飞行参数数据点的时间间隔应该大于上述三维工作站所需要的飞行参数的时间间隔,所以可以利用该 UAV 工作站的大气环境数据库、动力学仿真模型、飞行控制仿真模块计算时间间隔,输出三维图形工作站所需要的输入间隔的数据格式。

#### 4) 虚拟地面控制站工作站接口

虚拟地面控制站应该能够接受 UAV 工作站给出的飞行参数数据,而输出接口应该包括实时或静态的威胁。

#### 5) 综合管理工作站接口

综合管理接口只包含输入接口,其输入的数据主要是虚拟 UAV 工作站给出的飞行参数数据。

### 2.4 测试床的程序实现

#### 2.4.1 三维工作站的实现

三维工作站的实现主要采用 VC++ .net 和 Direct3D 作为仿真平台,地形数据和地形纹理主要来自于美国地理局 (USGS) 上公开的高程和纹理数据库,地形 LOD 采用的方法是 Arul Asirvotham 提出的基于 GPU 的 Geometry Clipmaps 方法<sup>[10]</sup>,然后通过真实的地形增加机场型即可实现地形的仿真,雨雪的气候模拟采用粒子的方法进行模拟;无人机模型采用 3D MAX 建模,然后转化程序所用的三维文件格式。

#### 2.4.2 虚拟地面控制站和综合管理工作站的实现

虚拟地面站主要采用 VC++ .net 结合 MAPINFO 公司提供的 MAPX 控件来调用地图数据库以实现数字地图的功能,威胁数据库可以通过人为的增加来实现。通过该方法,数字地图具有放大、缩小、漫游等基本功能,通过对地图的操作处理,可以设置飞机的初始位置和终点位置,根据所有飞行参数以飞机图标形式实时显示所有飞机的当前位置,显示飞行的历史航迹及实现地图的跟踪,并可以在上面设置威胁区域。综合管理工作站主要采用 VC++ .net 来开发界面并完成二进制文件的读写操作。

#### 2.4.3 虚拟 UAV 工作站的实现

虚拟地面工作站主要采用模块化建模的设计方法,将虚拟 UAV 工作站分为动力学仿真模块、气动模块、大气环境模块。现在利用某型飞行器的模型,将无人机的运动看成是包含 6 个自由度的刚体运动。其中包含绕 3 个轴的 3 种转动(滚动、俯仰与偏航)和沿 3 个轴的 3 种线运动(前进、上下与

左右)。基于飞机运动刚体性的假设,可以推导出飞机的一般数学模型为一组 12 阶的非线性微分方程。无人机动力学仿真模块的功能是对飞机空气特性进行仿真,通龙格库塔法解算飞机的 6 自由度非线性全量运动方程,并进行大气环境对飞行影响的模拟。飞控仿真模块通过调用气动模块、大气环境模块产生飞行需要的力和力矩,通过全量运动方程实时解算出飞机姿态,按三维工作站所要求的大于每秒 25 帧的间隔采集飞参值。

### 3 多无人机系统测试床的仿真实验

使用上述系统对编队算法进行仿真,以两架无人机编队为实验,以僚机的航迹坐标系为参考,建立了无人机相对运动方程,然后以僚机的推力、迎角以及滚转角为控制量,长机与僚机之间的状态误差量为反馈量,利用 PID 控制设计了编队控制器,将该编队算法放置于协同作战算法终端,得出的实验结果如图 3—图 5 所示。

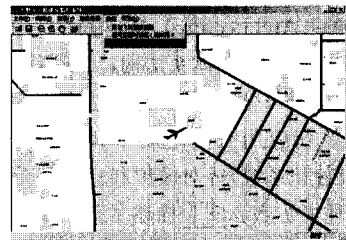


图 3 虚拟地面控制站工作站的显示结果

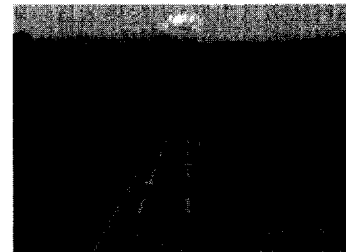


图 4 三维工作站在编队滑跑时的显示结果

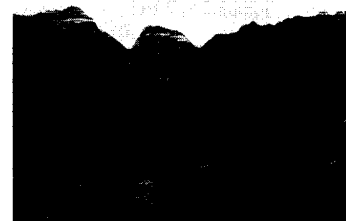


图 5 三维工作站在空中编队时的显示结果

**结束语** 本文基于 HLA 标准设计并实现了针对飞行器的 Muti-Agent 三维仿真测试床,用户只需要了解协同作战算法实验终端工作站的接口就可以设计自己的算法,用于在该仿真测试床上进行实验,以为用户进行多无人机系统协作理论验证、算法实验、三维实时仿真提供支持。下一步将样机 UAV 平台通过无线通信加入到本文的测试床中,从而进行半实物的协同验证。另外,本文的无人机方面动力学仿真模块及飞行控制模块库还应增加更多类型的无人机,下一步将进一步充实两个模块库。

(下转第 284 页)

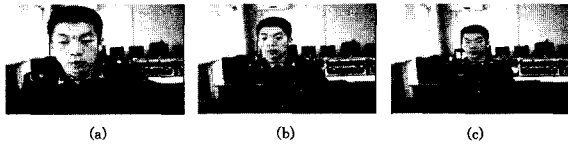


图5 AWV-Shift算法的人脸探测结果

实验结果表明,AWV-Shift算法能够快速准确地探测出视频中的人脸目标,并且跟踪窗的尺寸能够随着人脸目标尺寸的变化自适应地进行调整。该算法在探测速度方面与目前广泛采用的Adaboost算法接近,并且在一定程度上降低了Adaboost算法的误判率。

**结束语** 本文将光照补偿和肤色探测作为修正人脸位置的后期手段。光照补偿和肤色探测由于仅在跟踪框内进行,因此能够以很小的计算成本提高传统Mean-shift算法的探测精度,在探测速度上也能够满足实时性要求。并且,本算法探测过程完全不需要人工参与,不像OpenCV中的连续自适应Mean-shift算法那样,在每次跟踪前还得手工标定人脸区域样本。

## 参考文献

- (上接第254页)
- [12] Zahara, Erwie, Hu, et al. Solving constrained optimization problems with hybrid particle swarm optimization [J]. *Engineering Optimization*, 2008, 40(11): 1031-1049
- [13] Cao Y J, Wu Q H. Convergence analysis of adaptive genetic algorithm, genetic algorithms in engineering systems [J]. *Innovations and applications*, September 1997, 446-450
- [14] Powell D, Skolnick M. Using genetic algorithms in engineering design optimization with non-linear constraints [C]// *Proceedings of the fifth international conference on genetic algorithms*. 1993: 270-271
- [15] Kuri-Morales A F, Gutierrez-Garia J. Penalty function methods for constrained optimization with genetic algorithms; a statistical analysis [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2002: 187-200
- [16] Li Ai-guo. Particle swarms cooperative optimizer [J]. *Journal of Fudan University, Natural Science*, 2004, 43(5)
- [17] 许艳. 基于改进遗传算法的自动组卷研究 [J]. *计算机与信息技术*, 2008, 7(2)
- (上接第257页)
- [4] Fei Sheng-wei, Sun Yu. Forecasting dissolved gases content in power transformer oil based on support vector machine with genetic algorithm [J]. *Electric Power Systems Research*, 2008, 78(3): 507-514
- [5] Pai Ping-feng. System reliability forecasting by support vector machines with genetic algorithms [J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2006, 43(3): 262-274
- [6] 张泉娜, 张德江, 冯勇. 基于混沌遗传算法的柔性机械手滑模控制器优化设计 [J]. *控制理论与应用*, 2008, 25(3): 451-455
- [7] Schölkopf B, Smola A. *Learning with kernels: support vector machines, regularization, and beyond* [R]. Cambridge, MA: MIT Press, 2002
- [8] Wang Wenjian, Xia Zongben, Lu Weizhen, et al. Determination of the spread parameter in the Gaussian kernel for classification and regression [J]. *Neurocomputing*, 2003, 55(3): 643-663
- [9] 杜京义, 侯媛彬. 基于遗传算法的支持向量回归机参数选取 [J]. *系统工程与电子技术*, 2006, 28(9): 1430-1433
- [10] 姚俊峰, 梅焱, 彭小奇, 等. 混沌遗传算法及其应用 [J]. *系统工程*, 2001, 19(1): 70-74
- [11] Tavazoei M S, Haeri M. Comparison of different one-dimensional maps as chaotic search pattern in chaos optimization algorithms [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2007, 187(2): 1076-1085
- [12] Yang Dixiong, Li Gang, Cheng Gengdong. On the efficiency of chaos optimization algorithms for global optimization [J]. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2007, 34(4): 1366-1375
- (上接第260页)
- 参考文献**
- [1] Samad T, Bay J S, Godbole D. *Network-Centric Systems for Military Operations in Urban Terrain: The Role of UAVs* [J]. *Proceedings of the IEEE*, 2007, 95(1): 92-107
- [2] Nolle L, Wong K C P, Hopgood A A. DARBS: A Distributed Blackboard System [M]// Bramer, Coenen, Preece, eds. *Research and Development in Intelligent Systems XVIII*. Springer, 2001: 161-170
- [3] A Hovercraft Testbed for Decentralized and Cooperative Control [C]// *Proceeding of the 2004 American Control Conference*. Boston, Massachusetts, 2004
- [4] Popp R. MTE Ground Station Testbed - A Battlefield Awareness Asset for GMTI Exploitation
- [5] Shields J F. The Formation Control Testbed Celestial Sensor: Overview, Modelling, and Calibrated Performance
- [6] King E, Kuwata Y, Alighanbari M, et al. Coordination and Control Experiments on a Multi-vehicle Testbed
- [7] McLain T W, Randal W. Beard Unmanned Air Vehicle Testbed for Cooperative Control Experiments
- [8] Niland W M. The Migration of a Collaborative UAV Testbed into the Flames Simulation Environment [C]// *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*
- [9] Wise R, Rysdyk R, Seattle, et al. Multi-vehicle Cooperative Control Flight Test [C]// *Anawat Pongpunwattana, MO. IEEE 25th Digital Avionics Systems Conference*. October 2006
- [10] Hoppe H. Terrain Rendering Using GPU-Based Geometry Clipmaps Arual Asirvatham, Microsoft Research, 2004