

# 飞行模拟器联网训练系统<sup>①</sup>

李雪青, 艾祖亮, 王再奎, 谢保川

(海军模拟飞行训练中心, 北京 102488)

**摘要:** 根据飞行员实际飞行训练需要, 研制了导调控制分系统、战场环境分系统、外弹道解算分系统、计算机生成兵力分系统、指挥分系统以及音频分系统, 并通过基于 HLA 的网络将上述分系统和经过联网改造的飞行模拟器分系统进行联网整合, 构建了飞行模拟器联网训练系统, 在本地实现了多机联合训练功能。

**关键词:** 飞行模拟器; 联网训练; 导调控制; 战场环境

## Flight Simulator Networking Training System

LI Xue-Qing, AI Zu-Liang, WANG Zai-Kui, XIE Bao-Chuan

(Naval Simulation Flight Training Center, Beijing 102488, China)

**Abstract:** According to the actual needs of the pilot, directing and adjusting subsystem, battlefield environment subsystem, missile trajectory calculation subsystem, CGF subsystem, command subsystem and audio subsystem are developed. The above-mentioned subsystems and networking modified flight simulators are integrated based on HLA network. Flight simulator networking training system is built. Multiple flight simulators joint training function is realized in the local area.

**Key words:** flight simulator; networking training; directing and adjusting; battlefield environment

随着近年来计算机硬件和软件技术的不断创新和发展, 以其为基础的飞行模拟器的应用研制也在不断进行技术革新。以现有技术, 将多台飞行模拟器进行联网, 实现模拟器联网作战训练已经成为可能。本系统通过基于 HLA 的网络<sup>[1-3]</sup>将多台单机飞行模拟器进行联网实现在同一战场环境下模拟训练, 不但可以满足战斗机飞行人员对模拟实战对抗训练的需要, 同时也可以满足指挥人员的训练需要。

战斗机飞行人员在以往的飞行训练中多以基本驾驶术、单机基本战术、特情处置以及武器使用为训练重点。这些训练内容可以使从未有过驾驶经验的飞行学员尽快的掌握战斗机的基本性能, 熟悉基本操作。但是仅仅实现这些内容远远满足不了成熟飞行人员对于训练的需求, 他们往往需要更复杂、更深层次的训练内容, 如多机配合完成攻击某一地区目标的任务、完成与敌机空中对抗的训练等。这些训练内容在实装飞行中很少甚至无法实现, 通过多机联网实现这些训

练内容后可以有效的提高飞行人员在实际战场中的作战能力。

目前国内飞行模拟器联网主要通过反射内存网<sup>[4,5]</sup>技术实现, 这种技术通过反射内存数据方式实现通信, 这种方式具有系统延迟时间小, 数据响应速度快的优点, 但也存在硬件成本高、系统扩展性差的缺点。本系统通过基于 HLA 的网络进行飞行模拟器联网, 同时加入导调控制、指挥引导、战场环境仿真、计算机生成兵力仿真和弹道解算仿真等内容, 使所有飞行模拟器能够在统一的战场环境下进行仿真训练。这种方式具有联网成本低, 扩展性强的特点。

## 1 系统概述

### 1.1 系统组成结构

该系统由导调控制分系统、战场环境分系统、指挥分系统、外弹道解算分系统、计算机生成兵力(CGF)分系统、计算机网络分系统、音频分系统和各飞行模拟

<sup>①</sup> 收稿时间:2016-07-27;收到修改稿时间:2016-09-02 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005703]

器分系统等组成,其中战场环境分系统由气象环境、电磁环境、地形服务和导航信息子系统组成,导调控制分系统由三维态势、二维态势及控制和训练管理子系统组成,指挥分系统由红、蓝方指挥所子系统组成.音频分系统由音频终端、音频网络和音频计算机等组成.

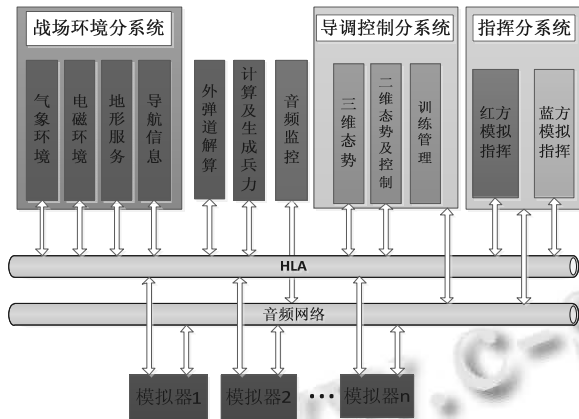


图 1 飞行模拟器联网训练系统组成结构图

### 1.2 系统网络结构

该系统网络包括以传输仿真数据为主的仿真数据网络和以传输音频数据为主的音频数据网络,这两个网络独立成网,互不相连.

如图 2 所示为系统仿真数据网络结构图,系统的网络以光纤交换机作为核心,通过光纤、网线、接入层交换机实现各个分系统的物理联网.根据 HLA 网络的分布式仿真原理,网络中需要定制统一的 FOM 表,该表中定义了各个联邦成员需要发布和订购的数据结构,各联邦成员根据该数据结构,发送和接收相应的仿真数据.各联邦成员通过将仿真数据发送到 RTI 服务程序,再通过该服务程序将仿真数据分发给需要的联邦成员,从而实现各分系统间数据的互联互通.

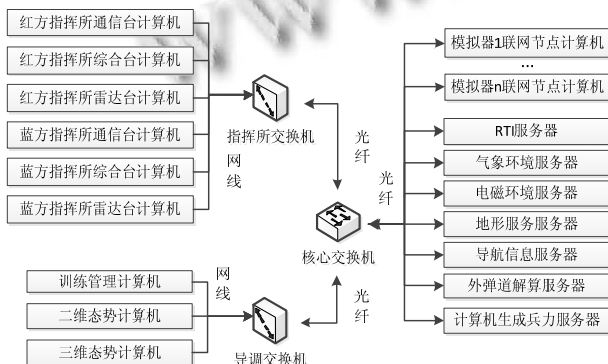


图 2 系统仿真数据网络结构图

如图 3 所示为系统音频网络结构图,音频网络通过普通接入层交换机将语音通讯计算机和实时通讯单元连接.语音数据传输也是通过 HLA 网络实现,RTI 服务程序安装在语音通讯计算机内.与仿真数据网络一样,RTI 服务程序负责语音数据的接收和分发.

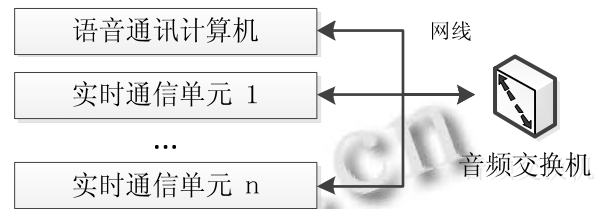


图 3 系统音频网络结构图

### 1.3 系统功能

飞行模拟器联网训练系统的主要功能以飞行人员的空战训练为主,因此飞行模拟器是整个系统的训练核心.飞行模拟器具有对应模拟机型的驾驶、武器使用及电子设备使用等功能;指挥分系统由指挥人员操控,完成对红、蓝方兵力的指挥与调度.导调控制分系统为导调控制人员提供二、三维战场态势及参训人员训练信息管理等功能.战场环境分系统为联网训练提供统一的战场环境数据支持,其中气象环境是通过气象环境数据发布使所有战场内的战斗实体能够接收统一的气象数据;电磁环境为所有实体提供统一的电磁解算;地形服务为所有需要地形高度数据的系统提供统一的高程数据服务;导航信息为所有飞行模拟器提供统一的导航数据信息服务.外弹道解算系统为武器发射后的状态提供解算,并对战斗实体进行毁伤计算.计算机生成兵力分系统为系统增加计算机虚拟兵力,以增加战场兵力复杂度,同时也增加了训练强度和难度.音频分系统可以实现各参训人员间的语音通讯功能.计算机网络分系统将各个分系统连接并为数据分发提供软硬件支持.

### 1.4 信息关系

导调控制分系统是整个训练系统的控制中枢,通过该系统可以发出系统运行、战场布局和环境设置等命令,同时该分系统还要接收其他各分系统回送的状态数据,通过这些数据导调控制人员可以进行战场态势观察和评估,为整个训练的协调运行提供保障.

战场环境分系统为飞行模拟器、计算机生成兵力、外弹道解算、导调控制等分系统提供战场环境数据.

计算机生成兵力将电磁设备状态反馈给战场环境分系统、将实体状态数据反馈给导调控制、指挥、外弹道解算和飞行模拟器分系统。

外弹道解算分系统将弹道状态数据反馈给导调控制分系统，将毁伤数据反馈给飞行模拟器和计算机生成兵力，同时还接收战场环境数据供弹道解算使用。

指挥分系统将指挥数据发送给飞行模拟器和计算机生成兵力分系统，同时接受导调控制系统的控制信息。

飞行模拟器接收导调控制的控制信息、战场环境信息、计算机生成兵力实体状态信息、外弹道解算毁伤信息以及指挥分系统的指挥命令信息。同时，飞行模拟器还将状态信息发送给导调控制、指挥、计算机生成兵力、外弹道解算和战场环境等分系统。

所有信息仿真数据的交互都通过计算机网络分系统实现，音频分系统通过专用音频网络实现音频通讯。

如图4所示为各个分系统之间的信息关系图。

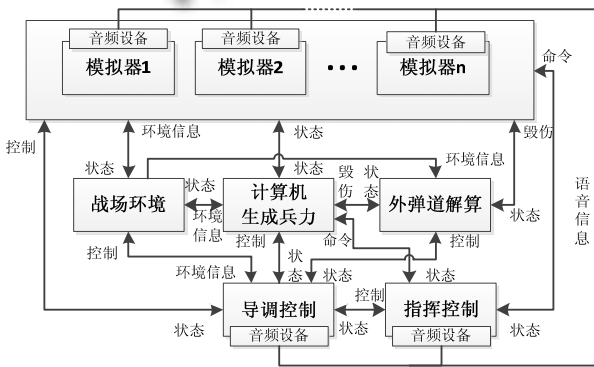


图4 各分系统间的信息关系图

## 2 分系统实现及联网整合

### 2.1 计算机网络分系统

计算机网络分系统是飞行模拟器联网训练系统的基础，其他各个分系统的运行都要依赖该分系统的软硬件设备。

计算机网络分系统包括软硬件两部分，硬件部分主要包括交换机、光纤网络、双绞线网络、RTI服务器以及联网节点计算机等。软件主要为自研的仿真互联可视化快速开发平台 QuickLink。

QuickLink 是基于 HLA 分布式交互仿真体系结构设计和开发的仿真互联可视化快速开发平台，突出解决仿真互联设计和开发过程中“可视化开发工具、通用语言接口框架、仿真互联引擎”三个方面的关键问题。

基于该平台开发者无需了解任何 HLA、RTI 以及软件设计模式等专业技术细节，使得大规模分布式仿真系统通信互联的开发时间大幅缩短，可以显著提高仿真系统的开发效率。软件总体架构如图5所示。

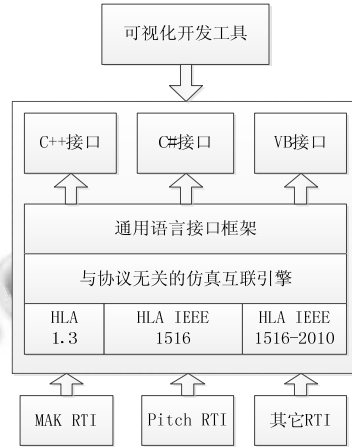


图5 QuickLink 软件总体架构

该平台由以下四个部分组成：

#### 1) 可视化开发工具(QuickLinkDev)

具有人机交互界面，根据用户输入的网络通信协议自动生成相应的仿真互联引擎多语言接口，整个开发过程只需开发者进行简单地操作就可以完成，而无须了解任何 HLA、RTI 技术细节和编写任何程序代码。

#### 2) 通用语言框架(QIToolkit.dll)

为分布式仿真互联提供多语言开发接口，该接口支持 C++、C#、VB。

#### 3) 仿真互联引擎(QICore.dll)

为对象、交互的结构与行为提供与协议无关统一的管理与通信接口。

#### 4) 运行时(QuickLinkRT)

为分布式仿真互联提供 RTI 运行环境与管理工具。QuickLink 平台仿真程序运行流程如图6所示。

### 2.2 导调控制分系统

导调控制分系统由二维态势及控制、三维态势和信息管理三个子系统组成。二维态势及控制子系统实现了二维战场态势显示、战斗实体控制、战斗实体状态显示及系统运行控制等功能。三维态势子系统通过三维方式显示整个战场态势。信息管理子系统通过数据库管理所有参训人员信息。

#### 2.2.1 二维态势及控制子系统

该子系统软件以 MFC 作为开发平台，以 MapX 作

为开发组件,可加载矢量和光栅两种地图格式,具备二维战场态势显示、战斗实体军标标识、战斗实体状态控制,系统的仿真进程控制,战场态势记录重演等功能.



图 6 程序运行流程

MapX 是一个基于 ActiveX(OCX)技术的可编程控件,该控件具有显示二维矢量地图、显示字体符号形式的军标、绘制线条、绑定数据、图元查询等功能.其中分层绘制图元的显示方式,可以方便的实现军标运动显示、路径规划轨迹绘制等功能.如图 7 所示为导调控制软件层次图.

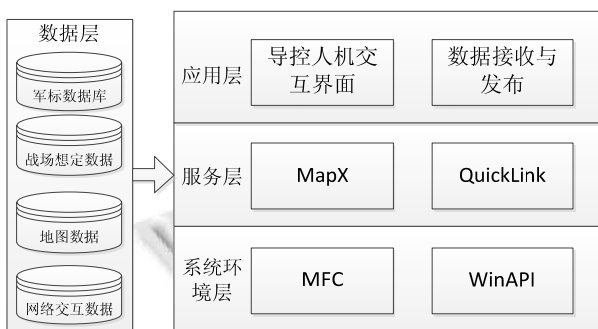


图 7 二维态势及控制软件层次图

该软件包括训练战场想定设置、兵力设置、战场环境设置、系统运行控制、战斗实体控制、特殊情况及系统态势监控七个功能模块.战场想定设置功能通过兵力设置、战场环境设置和数据库操作可以实现初始战场想定的布设、保存和调用;兵力设置可以设置

红、蓝、中立和未知兵力,设置内容包括兵力类型、运动状态、属方、编组状态和武器状态等;战场环境设置可以对气象环境、电磁环境和导航信息进行人工设置;系统运行控制是对系统仿真过程进行控制,如运行、暂停、结束和回放等;战斗实体控制可以对战场内所有实体进行运动状态、武器状态、部署状态等全方位的控制,可以协调整个战场态势,使训练能够有效的进行.特殊情况设置可以在训练过程中设置一些特殊情况,增加训练难度,如飞机发动机失火、通信中断等;系统态势监控通过文字和二维图形的方式对战势进展状态、各战斗实体运行状态、武器状态进行监控,随时协调各作战单元,避免因技术原因造成训练停止.

### 2.2.2 三维态势子系统

三维战场态势软件采用 EV-Globe SDK 作为开发组件,在其基础上可以实现三维数字地球显示,在数字地球的基础上可以实现各种军标、模型、特效、气象等三维战场态势所需的要素.软件效果如图 8 所示.



图 8 三维战场态势显示

### 2.2.3 信息管理子系统

信息管理子系统软件包括人员注册、添加信息、查找信息、统计信息和提醒信息 5 个功能模块,通过这些模块可以实现参训人员信息管理,包括参训时间、训练课目、参训机型等信息.参训人员的信息数据以数据库形式存储.

### 2.3 战场环境分系统

战场环境分系统为整个训练系统提供各种数据支持和服务,包括电磁环境、气象环境、导航信息和地形服务四部分.该分系统保证所有战斗实体具有统一

的战场环境,使训练过程和结果更公平可信。

### 2.3.1 电磁环境子系统

在真实的战场中,复杂电磁环境对雷达、导弹、导航等设备的使用具有比较大的影响,为了增加作战真实性,该子系统通过功能仿真,实现了复杂战场电磁环境的模拟。

飞行模拟器联网训练系统中涉及与电磁环境相关的设备包括雷达、干扰机、导航设备和敌我识别器。系统采用脉冲描述字(PDW)对辐射源进行描述,包括脉冲到达时间,脉冲到达角,脉冲载频、脉冲宽频、脉冲幅度等。系统根据导调控制分系统的辐射源设置,在考虑辐射源平台运动、辐射源天线波束形状及扫描方式的情况下,计算每部雷达信号、干扰信号的脉冲参数,将脉冲存储起来,最后按到达该点的时间进行排序,最后得到整个仿真时间内按到达时间排序的 PDW 脉冲流,从而得到各参训实体处接收机所面临的脉冲信号。

### 2.3.2 气象环境子系统

该系统气象数据的数据来源为特定时期国内真实气象数据和仿真气象数据。真实气象数据以全国范围内不同地区全年气象数据为基础,采用插值等计算方法计算特定空间、时间点气象数据。仿真气象数据是根据导调控制分系统设置的气象内容通过气象数学模型生成特定气象数据。软件系统结构组成如图 9 所示。



图 9 气象环境软件系统结构

### 2.3.3 导航信息子系统

通过将仿真训练区域内的导航设备部署信息录入数据库,并通过导调控制分系统对其状态进行控制和管理,实现导航信息服务功能。训练区域导航设备部署信息库存储的内容包括机场代码、机场名称、机场装备的导航设备型号、导航设备名称、导航设备部署经度、导航设备部署纬度、导航设备部署高度等。



图 10 导航信息软件系统结构

### 2.3.4 地形服务子系统

该子系统通过分页加载 DEM 数据,为战斗实体提供统一的高程数据值。在训练系统中,飞行模拟器、导弹、计算机生成兵力等战斗实体都需要高程数据值,这些值可以实现实体高度检测、碰撞检测、透视性检测等功能。

### 2.4 外弹道解算分系统

外弹道解算分系统用于对敌我兵力对抗过程中敌、我双方武器发射后的外弹道进行模拟解算并进行最终毁伤效果的计算。该系统仿真对象包括机载导弹、机载炸弹、航炮、地面防空导弹和舰空导弹等。如图 11 所示为武器外弹道模拟仿真框图。武器外弹道解算需要提供武器的初始运动、姿态等状态值,这些值通过武器载体如模拟器、CGF 等获得。该分系统通过发动机系统模型、燃油系统模型、武器质量特性模型、武器控制模型、武器制导模型结合气动数据、大气数据、电磁环境数据等完成武器的运动状态解算,解算后数据与系统地形数据、三维模型数据一起作为碰撞检测模型数据源完成碰撞检测计算并给出毁伤效果值。

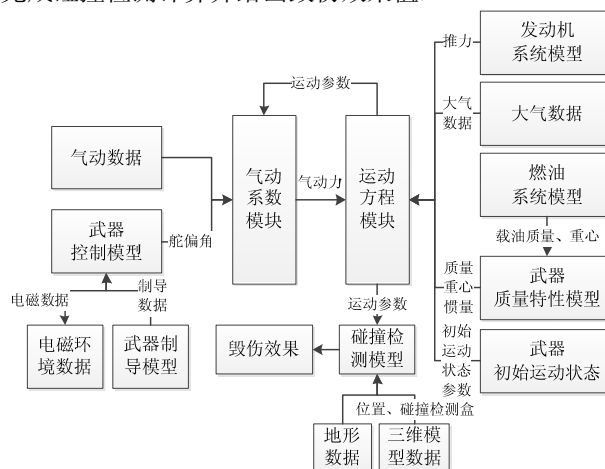


图 11 武器外弹道模拟仿真框图

## 2.5 计算机生成兵力分系统

计算机生成兵力分系统主要作用是配合飞行模拟器训练,提供以蓝方兵力为主的逼真的对抗对象。该分系统主要包括作战仿真引擎、仿真资源库、通讯接口和人机交互界面四部分。作战仿真引擎是整个 CGF 分系统中的核心模块,完成兵力对抗的主要功能,重点在于基于工厂机制的模型设计和重用。仿真引擎底层采用基于 MÄK RTI 的分布式仿真结构,提供对仿真进程的驱动。仿真资源库是离线系统,以文本或数据库形式提供与作战相关的各种武器装备的性能参数和作战行动文案等,为开发和操控人员提供数据支持。通信接口是 CGF 分系统与整个外部系统交换数据的通道。其功能是接收外部数据,转化为满足 CGF 系统运行的本地数据;将本地数据转化为外部系统需要数据,完成 CGF 系统与外部系统数据交互过程。如图 12 为 CGF 软件结构图。

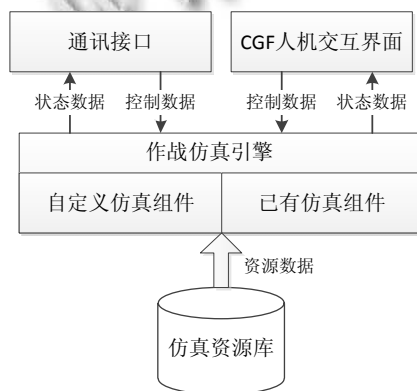


图 12 CGF 软件结构图

## 2.6 指挥分系统

指挥分系统包括红方指挥所和蓝方指挥所,该分系统通过仿真的数据链和语音的方式向作战实体发出控制命令。红、蓝方指挥所软硬件组成基本相同,都包括雷达台、综合态势台和通信台,指挥员可以通过这些台位设备对战场态势进行观察,并通过仿真数

据链和语音系统指挥战斗实体完成指挥员的战术意图。

## 2.7 音频分系统

音频分系统以各参训部位语音麦克风、音响、语音通讯计算机和语音通信服务器等硬件为基础,通过 HLA 语音通讯网络,实现训练部位语音通讯功能。通过语音通讯控制软件可以对通讯节点进行通讯组合控制。音频分系统主要设备为 RIU——实时通信单元,RIU 是一种集实时语音通讯和即时声音告警功能于一体的通讯系统。

RIU 的实时语音通讯软件设计主要包括三部分的内容,一是声音的采集和播放,使用 DirectSound 开发;二是语音包的传输,使用了 RTP 库,RTP 是一个实时通讯网络协议,网络上的音视频传输大多用它来实现;三是控制字,用来控制语音包的发送地址,从而达到语音通讯的控制,如是否进行语音通信,是单工还是双工等。

## 2.8 飞行模拟器分系统

飞行模拟器主要包括座舱系统、视景系统、操纵负荷系统、计算机及网络系统、音响系统和电源系统等,本系统中所涉及的飞行模拟器是已经研制完成并使用过一段时间的成熟产品,这些模拟器已经具备单机训练功能。飞行模拟器的互联只需将飞控、航电、武器火控模拟器内部数据与其他分系统的数据通过联网节点计算机进行数据交互,部分数据在使用前进行适当的数据变换处理即可。

## 2.9 分系统联网整合

各分系统内的联邦成员通过发布、订购数据类实现分系统间的数据交互,从而使整个系统能够协调运转形成整体。发布者按周期更新对象类数据,订购者可以获得对象类的连续状态;发布者发送交互类的状态值,订购者可以获得触发类消息。通过结合对象类和交互类的特点,可以实现各分系统间相互通信和消息的传递。如表 1 所示为数据互联协议说明。

表 1 数据互联协议说明

发布订购类	数据类型	发布者	订购者
Entity(实体对象)	对象类	各模拟器、外弹道解算服务、计算机生成兵力	各模拟器、二维态势及控制、三维态势、红、蓝指挥所
EntityHATHOT(实体位置地形高度)	对象类	地形服务	各模拟器、外弹道解算服务、计算机生成兵力

EntityFire (实体开火)	交互类	各模拟器、计算机生成兵力	外弹道解算服务
EntityDetonation(实体爆炸)	交互类	外弹道解算服务	各模拟器、计算机生成兵力
RunControl(运行控制)	交互类	二维态势及控制	各模拟器、外弹道解算、计算机生成兵力、气象环境、电磁环境、地形服务、导航信息、三维态势、红蓝指挥所
EntityControl(实体控制)	交互类	二维态势及控制	各模拟器、计算机生成兵力
EntityRoute(航线控制)	交互类	二维态势及控制	计算机生成兵力
EntityRoute(实体航线)	对象类	计算机生成兵力	二维态势及控制
EntityEquip(实体配备)	交互类	二维态势及控制	各模拟器、计算机生成兵力
WeatherControl(气象控制)	交互类	二维态势及控制	气象环境
EMEmitter(电磁发射器)	对象类	各模拟器、计算机生成兵力	电磁环境、二维态势及控制、三维态势
EMReceiver(电磁接收器)	对象类	电磁环境	各模拟器、计算机生成兵力、二维态势及控制、三维态势
NaviControl(导航控制)	交互类	导航信息	各模拟器
DataChain(数据链)	交互类	各模拟器、红蓝指挥所	各模拟器、红蓝指挥所、二维态势及控制

### 3 结语

该系统完成研制后,在交付使用之前,参研人员对系统研发前期制定的战术技术指标进行了严格的测试,达到甚至超过了原指标要求,后又经过多个批次测试训练,通过参训人员的反馈完全可以满足导调人员、指挥人员和飞行人员的训俩需求,对于提高各类人员在复杂战场环境下的实战能力起到了重要的作用。

飞行模拟器联网训练不仅拓展了训练内容,同时也使训练更接近实战,飞行模拟器联网训练为日后进行异地多兵种联网训练奠定了技术基础,甚至也使模拟器和实装装备联网训练成为可能,这将进一步扩大飞行模拟器的应用范围,提高军事经济效益。

### 参考文献

- 1 Fujimoto RM, Weatherly RM. Time Management in the DoD high level architecture. Acm Sigsim Simulation Digest, 1996, 26(1): 60-67.
- 2 Fujimoto RM. Time management in the high level architecture. Simulation Trans. of the Society for Modeling & Simulation International, 1998, 71(6): 388-400.
- 3 林新,宋焱,王行仁.战斗机飞行仿真系统 HLA 互联系统.系统仿真学报,2004,16(12):2751-2753.
- 4 王新民,蒋正雄,谢蓉,黄誉.基于反射内存网的分布式实时飞行仿真系统设计.计算机测量与控制,2011,19(12):3023-3026.
- 5 徐琦,方澄.基于反射内存网的多飞行模拟器时间同步.火力与指挥控制,2009,34(11):164-167.