

虚拟战场环境中一种 CGF 系统开发^①

谢保川 陈英敏 范毅晟 (海军模拟飞行训练中心 北京 102488)

摘要: 战场环境仿真是作战仿真和模拟训练系统的重要组成部分, 计算机生成兵力作为战场环境仿真中的一部分, 是战场环境仿真中的关键技术之一。以保障某型飞机模拟训练系统的战术训练、作战任务与战术协同训练以及战法研究为目标, 利用作战仿真平台 VR_Forces 提供的基于实体参数数据库的 CGF 实体框架结构, 采用基于组件工厂机制的 CGF 实体建模技术开发了 CGF 系统。该 CGF 系统提供以虚拟蓝方兵力为主的战场环境仿真, 为飞机模拟器提供了逼真的模拟作战环境, 较好地满足了某模拟训练系统的训练需要。

关键词: 计算机生成兵力; 战场环境; 对象参数数据库; 仿真组件

Development of CGF System in Virtual Battlefield Environment

XIE Bao-Chuan, CHEN Ying-Min, FAN Yi-Sheng

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

Abstract: Battlefield environment simulation plays an important role in battle and training simulation systems. As part of the virtual battlefield environment, CGF is the critical technique of virtual battlefield environment. In order to provide effective support of tactical training, combat missions training and tactics research for the flight simulation training system, a CGF system is developed through the CGF entity framework of VR_Forces based on the Object Parameters Database making use of the CGF entity modeling based on the component factory mechanism. The CGF system mainly generates enemy forces, provides with realistic simulation campaign environment, and better meets the training requirement of the simulation training system.

Keywords: CGF; battlefield environment; object parameters database; simulation component

计算机生成兵力 (Computer Generated Forces, CGF), 是指在模拟的战场环境中由计算机生成和控制的仿真实体。通过对人类作战行为的建模, 这些实体能在不需要人交互的前提下, 自动地对战场环境中的事件和状态做出反应。

国外对 CGF 技术的研究起步较早, 已经建成了几个成熟的 CGF 系统, 如 Loral 公司的 ModSAF、美军近战战术训练系统 CCTT 中的 SAF、DARPA 的 OneSAF。国内有北京航空航天大学航空兵 CGF 系统、装甲兵工程研究所的装甲兵 CGF 系统、军事科学研究院的指挥决策 CGF 系统等^[1]。

1 战场环境仿真系统概述

战场环境是一切军事行动的空间基础, 是目前军事作战仿真领域研究的热点^[2], 本文研究的战场环境仿真系统以保障某型飞机模拟训练系统的战术训练、作战任务与战术协同训练以及战法研究为目标, 提供以虚拟蓝方兵力为主的海空作战环境。能够完成二维战场态势显示、对抗环境仿真、作战想定辅助生成及作战的模拟。

该环境利用已有的作战仿真平台 (VR_Forces) 结合大地场景建模技术、CGF 技术、分布式仿真等技术, 为飞机飞行、作战等训练提供了贴近实战的战场环境。

^① 收稿时间:2009-11-12;收到修改稿时间:2009-12-11

1.1 战场环境仿真系统体系结构

战场环境仿真系统的体系结构如图1所示，它由仿真运行支撑层、仿真模型层、仿真对象层、仿真建立服务层、仿真开发接口层构成，下层为上层服务。基本思想是首先设计重用性较高的物理模型和行为模型组件；然后将它们组装成CGF实体对象(根据实体的物理特性和智能等级传入不同的参数)；CGF实体对象在服务层的调度和管理下，完成“感知->推理->行为->动作->影响”的过程。



图1 系统层次结构

仿真运行支撑层为仿真开发过程提供数据支持和管理功能。参与仿真的CGF实体分布在网络上，实体与环境之间、实体与实体之间在分布条件下的交互基于RTI来进行。

战场环境仿真系统运行所需的各种支撑数据库的设计包括：实体数据库、电磁环境库、回放数据库、行为库、规则库、想定库、数字航图库、三维地形库。

仿真建立服务层提供创建基于想定的仿真运行服务。想定主要用于配置特定任务下的战场环境以及仿真参数，通过对其它资源的引用，可以对仿真中的地形、兵力配置及状态、作战计划、与实体交互的环境对象等信息进行配置。想定的载入通过图形化界面实现，通过鼠标点击和键盘输入方式进行兵力布局、创建行动路线和航路点、任务指定和布置计划。在想定执行期间，仿真实体可以和地形进行交互、与敌军交战并计算损伤程度。

仿真开发接口层为用户提供了一个易于使用的可视化GUI，可以通过改变设置观察参数变化对仿真结果的影响。CGF系统提供给用户以电子航图为背景的态势平面视图，以把握全局态势，便于战法研究和训

练指导；CGF系统还提供计划脚本的编辑接口，用户可以在仿真开始时预先为实体指定作战任务，在仿真运行中还可以对实体进行干预。

1.2 战场环境仿真系统功能模块

战场环境仿真系统功能模块如图2所示，主要包括七个模块：作战仿真引擎、二维态势显示与操控、态势数据的记录与回放、通信接口、仿真资源库和蓝方兵力毁伤评估。

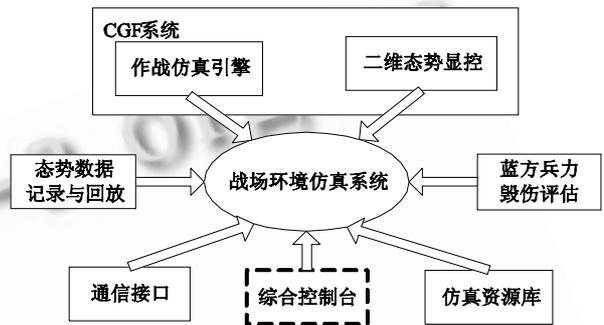


图2 战场环境仿真系统功能视图

其中，综合控制台作为战场环境的外围辅助系统，主要从远程控制战场环境软件的运行和停止。

作战仿真引擎和二维态势显控构成了一个CGF系统，其主要任务是：

- (1) 根据模拟器系统对仿真精度的要求，对实体状态池对象进行扩展。
- (2) 围绕空空、地空、舰空对抗需求，建立实体的探测、控制、动作执行模型，封装成行为组件，并设计行为组件之间、组件与环境之间、组件与实体之间、组件与实体物理特性之间的接口。扩充组件采用自定义的嵌入式(Plugins)组件形式实现。
- (3) 构造对象参数数据库(Object Parameters Database, OPD)。收集蓝方作战平台的物理特性参数和性能参数；对实体行为仿真组件、组件间的通信机制进行配置。

VR_Forces软件体系结构已经提供了完整的CGF框架体系，包括作战仿真引擎(VR_Sim)和CGF实体模型。

仿真引擎的主要功能包括：仿真初始化(主要完成对仿真时间参数、对象参数数据库文件、剧情文件、地形文件和Plugins等的初始设置)、加载组件、加载剧情、仿真控制(运行、停止、重置)、任务和计划执行等。

CGF实体的开发采用基于OPD的CGF实体配置模式和嵌入式组件开发模式。

2 CGF实体开发

2.1 基于 OPD 的仿真对象构造模型

CGF 系统的设计采用基于 OPD 的仿真对象构造模型。构造模型如图 3 所示。仿真剧情对战场环境和对抗推演过程进行想定, 其中包含了虚拟兵力的配置和初始状态信息。静态类库提供创建实体及其构件的模版。实体及其构件的构造基于组件工厂机制进行。组件工厂是将一种对象类型看作一种“产品”, 对应有—种“工厂”提供创建服务。在实体的构造过程中, 剧情给出需求、静态类库提供资源、OPD 提出要求、工厂负责具体实施。

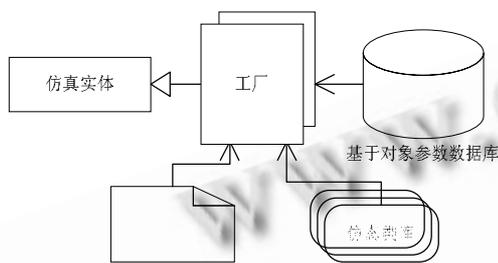


图 3 基于 OPD 的仿真对象构造模型

对象参数数据库是对象参数库入口 (Object Parameters Entry, OPE) 的集合, 入口是由对象类型、地址构成的二元组。对象类型映射了静态类库中相应的对象模版; 入口地址映射了对象参数模板 (Object Parameters Temple, OPT), OPT 是由行为框架、服务组件、资源集、性能和物理特性构成的五元组。行为框架是传感器、控制器、动作执行器、连接关系构成的四元组, 是定制实体仿真行为的入口; 服务组件是由状态池、网络接口、行为组件管理器、资源管理器、任务管理器构成的五元组, 状态池封装了仿真对象的属性, 并提供接口访问和修改属性; 资源集是资源的集合, 资源由资源类型和资源数量两个参数描述; 性能集是性能的集合。性能指的是最大航程、最大速度、转弯半径、升限等极限参数, 对实体的行为有制约作用, 是性能类型、性能值构成的二元组; 物理特性参数集描述实体的物理特性。

2.2 基于实体框架结构的实体构造

在 VR_Forces 提供的实体框架结构上, 构建一个实体类型的主要工作为:

(1) 对实体拥有的指控系统、武器系统、传感器、电子战设备等作战任务的实际执行单元进行建模, 封

装形成具有明确输入、输出接口的行为仿真组件, 并对组件间的交联关系、通信策略进行设计;

(2) 根据需要, 定制服务组件, 一般而言仅需对实体对象状态池进行继承扩展;

(3) 构建实体参数列表, 对实体的物理特性参数、服务组件、行为仿真组件及它们之间的通信协议进行描述;

(4) 将实体参数列表入口与实体类型关联, 并在实体参数数据库中注册。

根据 VR_Forces 提供的实体框架结构, 基于 OPD 的仿真对象的构造方式有两种^[3]:

(1) 利用 VR_Forces 已经提供的组件模型根据仿真需求进行组装或参数配置。

(2) 利用 Plugins 方式开发新的功能组件, 完成实体仿真功能。

2.3 基于组件的实体功能分析

基于 OPD 模式的 CGF 实体的设计中, 要对 CGF 实体进行适当的分解, 抽象出满足仿真需求的模型, 以组件形式表示。图 4 是平台级实体的一种分解参考模式。比如水面舰艇, 可以从系统组成的角度抽象出该平台的组成: “动力系统 + 探测系统 + 决策和指挥系统 + 武器发射系统 + 数据链路系统 + 资源”。其中每个系统中又可以由更小的分系统组成。在此我们采用基于功能的分解原则, 即不考虑上述系统的分系统组成, 而从系统完成功能的角度对组件进行分解。

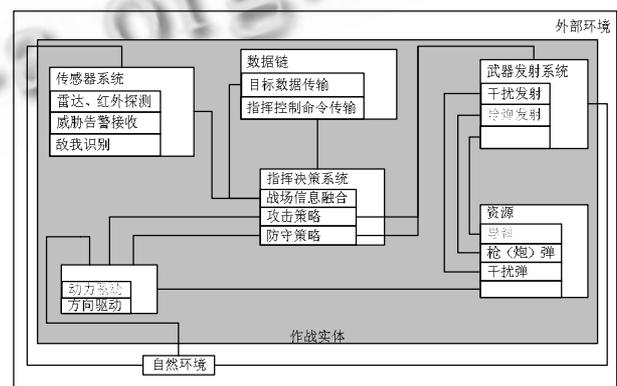


图 4 实体组件结构

2.4 实体配置模式

基于对象参数数据库的 VR_Forces 实体配置体系是根据 VR_Forces 组件类型, 配置实体参数。VR_Forces 支持三种基本的组件类型——传感器、控

制器和动作执行器。

传感器感知环境，并形成对态势的认知；控制器依据当前的任务，以认知、自身状态为输入，产生决策，决定采取何种物理动作以及动作执行的控制量；动作执行器在控制器的驱动下执行动作，产生对环境

2.4.1 对象类型标识

在某型飞机模拟训练系统中，参与作战仿真的实体有：蓝方实体、某型飞机及挂载武器实体、红方支援兵力实体和建筑等中立实体。

CGF 实体的对象类型由 8 个数字组成的枚举字符串描述，是对 DIS/RPR FOM 实体类型描述的扩展。DIS/RPR FOM 中的实体类型枚举量由 7 个数字构成，格式为：Kind Domain Country Category Subcategory Specific Reserve，在此基础之上，添加一个数字表示是单一实体还是聚合级实体，放在第一位；对象类型标识是对象参数库的入口标识，在 VR_Forces 的 OPD 文件中每个对象类型标识对应一个具体的实体类型，是 CGF 实体模型的实例化。

2.4.2 实体模型

根据仿真要求，需实现的仿真模型包括：

(1) 物理模型

包括飞机、导弹、水面舰艇、地面车辆的运动模型；导弹、密集阵火炮、高炮的武器系统模型以及毁伤模型。

(2) 探测模型

包括舰空、地空、空空有源与无源雷达的探测模型。

(3) 行为模型

包括编队指控模型；武器系统指控模型；飞机、导弹、水面舰艇、地面车辆的运动控制模型。

考虑到 CGF 系统要产生和控制多个实体的动态和自治行为，仿真实时性和仿真逼真度之间存在矛盾，对用于训练的 CGF 系统而言，可以采用相对简化的动力学模型，减少解算 CGF 动态模型的计算量，相应可增加仿真兵力的数量或产生更加复杂的自治行为。模型简化的通常做法是，只保留运动学描述模型，用简化模型和有关加速度、过载等的限制来取代动力学模型。

在某型飞机模拟训练系统中，参与作战仿真的实体有：蓝方实体、某型飞机及挂载武器实体、红方支

援兵力实体和建筑等中立实体。

2.4.3 实体配置设计

VR_Forces 为对象参数数据库提供入口配置文件 vrfSim.opd，vrfSim.opd 的配置格式为：

(parameter-database

.....

(parameter-entry ;; 入口

(object-type);; 实体类型，对应实体

类型表

(".\JiDeDDG.ope");; 实体模型(OPE

文件)

)

.....

)

2.5 组件开发模式

2.5.1 组件开发的主要模块

VR_Forces 提供的 CGF 实体开发 API 的主要模块及其之间的聚合关系如图 5 所示。CGF 系统管理器是 CGF 系统服务模块与仿真实现模块的集成框架，通过它可以访问底层的各个功能模块；并直接提供了诸如仿真集成与互操作、仿真任务调度、仿真运行控制、仿真对象管理、组织管理、作战计划管理等高层服务接口，隐藏了实现细节。

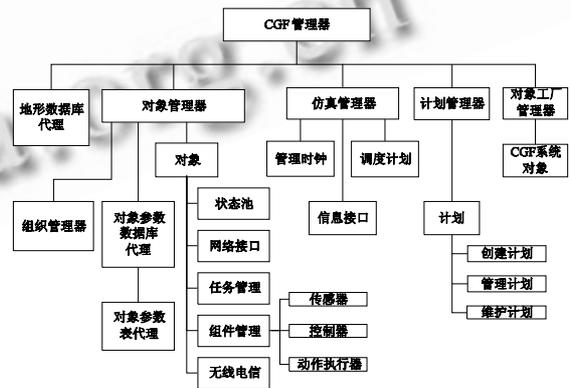


图 5 模块间聚合关系图

(1) 地形数据库代理

地形数据库代理从地形数据库中加载三维地理信息，维护了用于表示地表、地物特征的各种对象，并实现了地理信息检索、高度查询、相交检测等底层服务；实体通过该模块实现碰撞检测、通视性检测，进而影响其战场行为。

(2) 对象管理器

对象管理器是 CGF 实体的维护者,对仿真对象、配置仿真对象的参数库、实体间的组织关系进行管理;提供了 OPD 加载、对象创建与删除、对象查找、组织关系调整等服务接口。

①组织管理器:组织管理器对实体间的组织关系进行管理,提供了向聚合实体添加成员、从聚合实体中剔除成员、聚合多个实体等服务接口。

②对象参数数据库代理:对象参数数据库代理维护了来源于 OPD 的构造对象的参数配置表,对象创建时需通过该模块查找匹配其类型的实例化配置信息。

③对象参数表代理:所有仿真对象类型都需要一个对象参数表描述其配置。

④对象:对象是仿真中的主体,包括环境对象、实体。VR_Forces 提供了所有仿真对象所共用的框架类 DtSimComponent,该类拥有状态池、网络接口、任务管理器、组件管理器、无线电信道五个。

通过上述五个部件实现仿真对象的状态维护、状态更新发布或订购、作战任务管理、行为组件仿真调度、通信仿真等功能。仿真实体的作战仿真行为由其行为组件、行为组件间的交互模式所决定,不同的实体拥有不同的行为组件。仿真对象的部件配置细节由 OPD 描述。

(3) 仿真管理器

仿真管理器负责创建并维护仿真时钟、调度计划、仿真开发接口层消息界面。

(4) 计划管理器

计划管理器负责从计划文件中读取计划、将计划保存至计划文件;维护了所有角色的计划,提供接口查找、修改、添加、放弃角色所对应的计划;对计划的执行过程进行管理。

(5) 对象工厂管理器

对象工厂管理器维护了用于创建 CGF 系统所有的部件。对象工厂用于创建 CGF 系统中所有的对象。每种对象类型对应了一种对象工厂,工厂注册了该类型对象所有型号描述符与对象创建函数入口之间的映射关系,对象创建函数入口根据特定的对象类型模版创建对象。

2.5.2 嵌入式组件开发

(1) 组件开发的几个重要函数

①tick()函数:组件在仿真推进的每一帧或用户指定时调用 tick()函数。DtSimComponent::tick()函数不做任何事情。派生组件需重载 tick()函数。

②setEntity()函数:组件和组件的状态池直接关联。当组件创建时,setEntity()函数通过指针使其指向实体。DtSimComponent 类获得此指针。当组件派生于实体类,需要获得继承实体类或实体状态池,这些指针即指向这些类。

③addComponents()函数:当创建并初始化一个组件后,立即调用 addComponents(),此函数完成两项功能:

从对象参数数据库中调用描述参数列表的参数成员创建传感器、控制器和动作执行器;

从对象参数数据库中调用连接描述参数列表的参数成员,将组件同一个或多个组件连接。

(2) 组件开发步骤

①创建传感器、控制器和动作执行器组件

根据 VR_Forces 提供的 Component Code Generator 框架,创建传感器、控制器和动作执行器组件。

②生成生成 plugins

建立组件开发 DLL 工程项目,将由 Generate Code 生成的文件添加项目中。分别重载传感器、控制器和动作执行器组件中的 tick()函数。生成 plugin.cxx。

③仿真引擎配置 Plugins

首先在 OPE 文件中配置组件功能,然后在嵌入式组件配置文件配置组件,每个组件对应一个配置。在 VR_Forces 安装目录,plugins 中存储了用户开发的嵌入式组件配置文件,当作战仿真引擎运行时,程序会自动搜索该目录,加载组件。

2.6 CGF 系统的运行

根据 VR_Forces 的实体框架结构,利用基于 OPD 的仿真对象构造方式开发的 CGF 系统,系统启动运行时,先创建联邦成员、加载 FOM 模型,并作为一个联邦成员^[5]加入 RTI。成功后,进行初始化,加载 Plugins。

(下接第 15 页)

(上接第 5 页)

初始化完成后, 整个程序进入主循环, 完成指令和态势的接收、仿真运行管理、进行实体行为仿真和态势数据发布, 运行界面如图 6 所示。

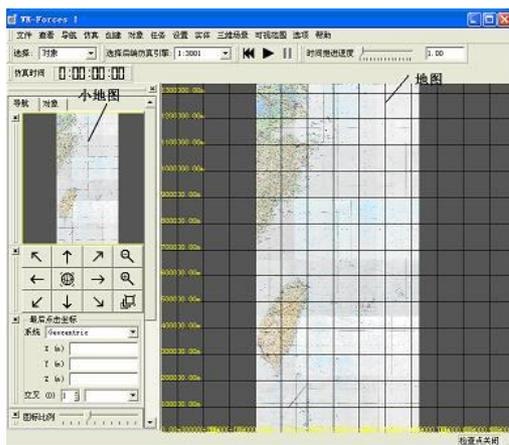


图 6 CGF 运行图

3 结论

VR_Forces 软件体系结构提供了完整的 CGF 框

架体系, 利用 VR_Forces 提供的基于实体参数数据库的 CGF 实体框架结构开发的 CGF 系统, 实际工作表明, 该框架结构和建模技术能够较好地满足了战场环境对 CGF 系统的需求。

参考文献

- 1 王江云, 龚光红, 韩亮, 王行仁. 通用型计算机生成兵力开发系统. 计算机工程与应用, 2003, 16: 206-209.
- 2 郭齐胜. 战场环境仿真. 北京: 国防工业出版社, 2005. 5-10.
- 3 林丽娜, 姜本清, 王岩斌. 利用 MAK 软件开发的战场环境仿真系统. 海军航空工程学院学报, 2008, 23(2): 181-184.
- 4 聂冲, 赵雯, 王维平. 虚拟战场环境中的一种 CGF 系统的体系结构系统. 仿真学报, 2003, 15(9): 1343-1346.
- 5 周彦. HLA 仿真程序设计. 北京: 电子工业出版社, 2002. 60-98.