

基于HLA的工程机械分队虚拟训练系统

孙伟¹, 张琦¹, 孙丰², 孙劭文¹

(1. 解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007; 2. 中国卫星海上测控部, 江阴 214431)

摘要: 为了提高工程兵机械分队训练水平, 提出开发基于高层体系结构(HLA)的机械分队虚拟训练系统。根据开发分布交互仿真的软件工程方法模型设计并开发联邦概念模型、联邦对象模型和仿真对象模型, 基于MÄK RTI和Delta3D实现一个原型系统。运行结果表明, 该设计较好地体现了HLA的可重用性和互操作性。

关键词: 高层体系结构; 工程机械分队; 虚拟训练

Virtual Training System of Engineering Machine Unit Based on HLA

SUN Wei¹, ZHANG Qi¹, SUN Feng², SUN Shao-wen¹

(1. Engineering Institute of Corps of Engineers, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007;

2. China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin 214431)

【Abstract】 In order to improve the training level of the engineering machine unit of the engineering corps, this paper proposes the virtual training system of engineering machine unit based on High Level Architecture(HLA). The Federation Conception Model(FCM), FOM and SOM of the federate are developed based on FEderation Development and Execute Process(FEDEP). A prototype system based on MÄK RTI and Delta3D is implemented. The running results of it show that this design materializes the reusability and interactive concept of HLA.

【Key words】 High Level Architecture(HLA); engineering machine unit; virtual training

1 概述

军用工程机械是工程兵在实施工程时的重要装备, 战时用于构筑急造军路、机场、码头、指挥所、防御工事等, 平时广泛用于市政道路工程、水利工程及抢险救灾等建设。由于工程机械装备机种机型多样、操作复杂, 因此对操作人员技术水平和指挥员指挥能力要求较高。传统实装训练容易受到经费、场地等因素的限制, 不利于装备自身的维护保养, 而模拟训练具有安全、经济、可控、可多次重复、无风险、不受自然环境限制等优势。因此, 应该大力发展仿真训练技术, 以提高训练质量、缩短训练周期并减少训练成本。

高层体系结构(High Level Architecture, HLA)是目前较成熟的分布式交互仿真技术框架, 由美国国防部仿真办公室于1995年提出, 并被IEEE作为IEEE1516系列标准。HLA是一个开放的、支持面向对象的体系结构^[1]。它提供通用的运行支撑服务程序(Run Time Infrastructure, RTI), 将具体的仿真功能与底层通信分离, 使仿真开发人员把主要精力集中在各自专业领域。HLA实现了各仿真系统的即插即用, 提高了系统的可扩展性和重用性。

本文分析机械分队虚拟训练系统的特点, 按DMSO提出的开发分布交互仿真的软件工程方法FEDEP(Federation Development and Execute Process)模型完成基于HLA的机械分队虚拟训练系统的设计与开发。

2 机械分队分布式虚拟训练联邦目标

根据FEDEP的要求, 联邦目标应包括联邦高层描述及逼真度要求、被仿真实体的行为要求、联邦剧情中必须表示的关键事件和输出数据要求等^[2]。

2.1 联邦高层描述

机械分队分布式虚拟训练联邦是一个各类型工程机械操

作及工程兵机械分队战术模拟训练系统。系统主要由各类机械装备(如推土机、挖掘机、装载机)的人在回路模拟器、导演控制(态势显示)台、计算机生成兵力子系统、自然环境子系统、声响子系统等部分组成。

指挥员通过导演控制台向位于各模拟器上的机械操作人员下达命令, 操作人员通过模拟器操纵虚拟机械装备, 在由自然环境子系统生成的统一虚拟环境中协同完成指定任务。计算机生成的兵力子系统负责完成辅助车辆(如自卸卡车等)的动作, 并模拟敌方火力骚扰。自然环境子系统能根据想定模拟雨、雪、雾等自然现象。在训练结束后, 系统能对训练过程进行评估。此系统可以实现新型机械装备的快速集成, 并与其他工程兵分队或其他军兵种训练系统进行联合仿真或加入战役级作战仿真系统。

2.2 联邦目标要求

本文的联邦目标具有如下要求:

(1)逼真度要求, 具体如下: 1)三维虚拟环境能较好地模拟真实自然环境, 提供高分辨率、高细节层次的地形表示。2)各类工程机械和车辆的外形及操纵装置模型均与实装一致。3)时空一致性, 由系统构建的虚拟环境、仿真实体的行为和能等, 都要符合现实世界的时空特性; 系统执行过程中的时间推进速度与墙钟时间流逝的速度基本相等; 仿真实体的动力学特性与视景环境中的时间、空间关系相一致。

(2)被仿真实体的行为要求, 具体如下: 1)能操纵各类虚拟机械完成实装所有行为。2)地形是动态可改变的。3)CGF

作者简介: 孙伟(1983-), 男, 博士研究生, 主研方向: 虚拟现实, 履带车辆运行仿真; 张琦, 教授、博士生导师; 孙丰, 助理工程师; 孙劭文, 博士研究生

收稿日期: 2008-01-20 **E-mail:** sunw71@tom.com

车辆能规划合理路线。4)敌方火力干扰为计算机生成兵力。

(3)联邦剧情中必须表示一些关键事件,包括联邦成员加入、机械邦元对地形邦元的作用、敌方火力干扰邦元对机械邦元及地形邦元的作用。

(4)输出数据应符合一定要求,包括各机械的运行路线、误操作情况和碰撞情况。

(5)具有可扩展性,仿真应用和仿真规模都可以进行适当扩展。

3 机械分队分布式虚拟训练联邦概念模型

3.1 联邦剧情开发

FEDEP模型认为联邦剧情应包括初始条件、终止条件的描述,提供对联邦中必须表示的实体能力、行为、数量及相互间变化关系等功能的描述以及会对联邦中的实体造成影响或被联邦中的实体影响的相关环境条件的规范描述^[2]。

工程兵机械分队分布式虚拟训练联邦的典型剧情如下:为某机械分队配备1台多用工程车、2台挖掘机、2台装载机和1辆自卸卡车。分队成员由10个人组成,包括1个战术指挥官、2个车辆指挥员、3个工程车乘员和4个机械操作手。

分队配置在我国阵地后方地形平缓的区域。某日某时某分,分队接收上级命令,在规定时间内完成构造师指挥所工事,联邦开始运行。战术指挥官制定分队战术,车辆指挥员领会战术意图后指挥各操作人员操作机械装备实施土方作业。作业期间可能受到敌炮兵零星炮火轰扰。

联邦中所有机械及车辆行为能力与真实世界一致。地形变化符合相应推土、挖土、装土及爆炸力学模型。若在联邦运行过程中有机械发生碰撞干涉,则碰撞机械立刻停机,重新发动后可继续运行。若机械装备被敌方炮火直接命中,则该机械装备退出联邦运行。若在规定时间内分队完成符合标准规格的工事,则联邦运行结束,否则在规定时刻结束。

3.2 概念性分析

概念性分析是指采用面向对象分析方法,开发独立于具体实现的联邦概念模型(Federation Conception Model, FCM),从而将联邦目标转化为联邦应该具有的功能和行为,为联邦的设计与实现提供依据。其开发过程如下:先确定对象类,然后确定这些类之间的静态和动态关系,最后确定每个对象类的行为特性。一般采用UML(Unified Model Language)记录FCM。本文按上述过程开发了FCM,如图1所示。

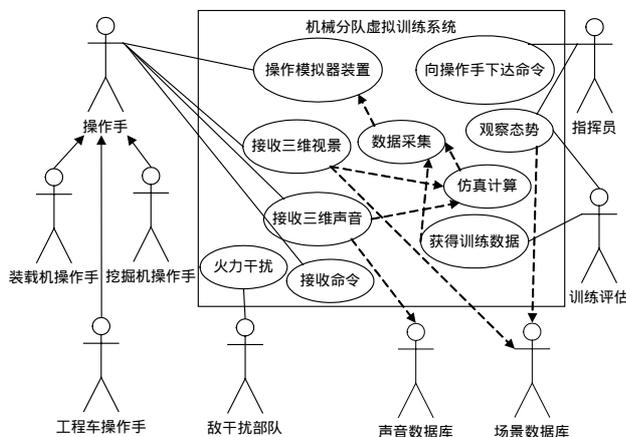


图1 FCM示意图

4 机械分队分布式虚拟训练联邦设计

4.1 选择联邦成员

根据机械分队分布式虚拟训练联邦目标和已开发的联邦

概念模型,选择如图2所示的联邦成员。

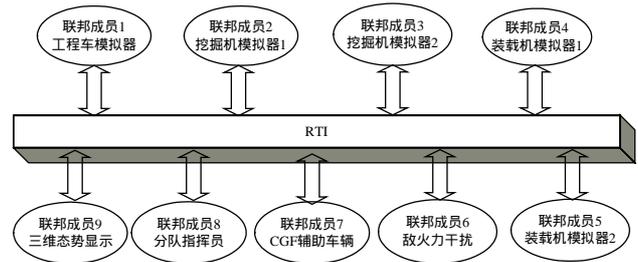


图2 联邦成员的组成

4.2 分配功能

根据联邦目标和FCM,联邦主要行为包括机械行为仿真、车辆行为仿真、土方作业仿真、动态更新地形、火力干扰仿真和全局态势显示等。其中,机械行为仿真、车辆行为仿真、火力干扰仿真和全局态势显示功能应分别分配给机械模拟器联邦成员、辅助车辆联邦成员、敌火力干扰联邦成员及三维态势显示联邦成员。

土方作业仿真和地形更新功能的分配是难点。按单一职责原则^[3],应将各类型机械土方作业仿真任务分配给各机械联邦成员,地形更新功能应分配给动态地形联邦成员。但上述方案存在2个缺点:(1)为了保持地形在各个联邦成员之间的一致,各机械联邦成员须将土方作业仿真结果发布给其他联邦成员,且必须订购其他联邦成员的土方作业仿真结果。这将加大网络运行负担,增加对RTI的要求。(2)动态地形更新需要内存与GPU进行数据交换,而联邦成员收到的更新地形交互是不确定的,因此,可能造成GPU数据频繁更新,破坏联邦成员的实时性。

针对上述问题,本文提出由每个机械联邦成员维护一个其他机械邦元的Ghost列表,并采用多线程技术负责该列表成员土方作业仿真。此方法虽然不符合分布式计算特点,但可以较好地实现动态地形更新策略,维护地形数据的一致性,并减小网络负载。

5 机械分队分布式虚拟训练联邦开发

5.1 SOM/FOM 开发

根据上述分析,本文联邦对象类包括Bulldozer(工程车)、Excavator(挖掘机)、Loader(装载机)、Commander(指挥员)、AssistantVehicle(辅助车辆)、Enemy(干扰部队)、Observer(态势观察者),其中,Bulldozer、Excavator和Loader派生自Machine,AssistantVehicle和Enemy派生自CGFEntity。交互类包括Enter(加入联邦)、Collision(碰撞)、Command(命令)、Explosion(干扰火力)、Hit(击中)、Ending(任务完成),其中,Hit继承Explosion类。图3、表1、表2描述了部分对象类属性和交互类参数。

Entity(PS)		
	Machine(PS)	
		Bulldozer(PS)
		Excavator(PS)
		Loader(PS)
	CGFEntity(PS)	
		Vehicle(PS)
		Enemy(S)
Observer(S)		

图3 对象类结构表

表 1 交互类参数

交互类	参数	数据类型	路由空间
Collision	CollisionPoint	Vector	N/A
-	CollisionObject	String	N/A
Explosion	ExplosionPoint	Vector	N/A
Hit	HitObject	String	N/A

表 2 对象类属性

对象	属性	数据类型	更新类型	更新情况	T/A	U/R	路由空间
	Type	String	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Machine	Name	String	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Position	Vector	Periodic	time advance	N/A	U/R	N/A
	UpturnCylinLen	float	Periodic	time advance	N/A	U/R	N/A
Bulldozer	BucketCylinLen	float	Periodic	time advance	N/A	U/R	N/A
	DepthCylinLen	float	Periodic	time advance	N/A	U/R	N/A

5.2 时间推进机制

由于联邦是实时仿真的，一般不采用严格的时间戳顺序处理消息^[4]，因此本文联邦采用接收顺序(Receive Order, RO)处理所有消息。因为联邦成员主要由人在回路模拟器组成，所以采用no-wait方式进行时间推进，伪代码如下：

```

while (not done) {
    flush incoming message queue ("tick()")
    process messages
    for each object {
        integrate (over •t)
    }
    post results (send messages)
}
t=WallClockTime-now
now =WallClockTime
    
```

5.3 关键算法与仿真流程

联邦的关键算法包括多分辨率动态地形算法、履带式车辆运动仿真算法、履带式车辆路径规划算法、机械土方作业仿真算法等^[5-6]。可以将以前开发的机械装备模拟训练系统中的相应仿真算法移植到本文系统中。工程机械联邦成员的仿真流程如图 4 所示。

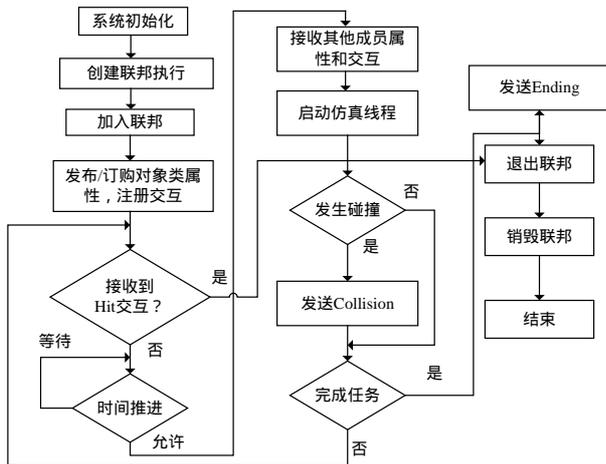


图 4 工程机械联邦成员的仿真流程

6 原形系统实现

为了验证本文系统，从而为联邦运行与测试阶段做好准备，笔者采用 MAK RTI 和 Delta3D 开发了一个机械分队分布式虚拟训练快速原形系统。系统由 3 个联邦组成：工程车模拟器联邦，挖掘机模拟器联邦和三维态势观察者联邦。按本文开发的 FOM/SOM 完成对原有单机模拟器训练仿真系统的 HLA 化改造。图 5 是联邦运行过程中，某时刻各联邦成员的视景截图。该原形系统的运行结果验证了本文系统设计的合

理性。



(a)挖掘机模拟器联邦成员



(b)工程车模拟器联邦成员



(c)三维态势观察者联邦成员

图 5 系统运行情况

7 结束语

FEDEP 模型规范了联邦开发过程，其重点是需求分析和系统设计。笔者通过开发原形系统验证了本文系统，下一步工作将完善联邦功能，进行联邦运行与测试。

参考文献

- [1] U.S. DoD. High-level Architecture-framework and Rules, Version 1.3[Z]. (1998-05-11). <http://www.dmsa.mil>.
- [2] 冯润明. 基于高层体系结构(HLA)的系统建模与仿真研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2002.
- [3] Robert C M. Agile Software Development Principles, Patterns, and Practices[M]. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2003.
- [4] McLean T, Fujimoto R. Repeatability in Real-time Distributed Simulation Executions[C]//Proceedings of the 14th Workshop on Parallel and Distributed Simulation. Bologna, Italy: ACM Press, 2000.
- [5] 张琦, 孙伟. 多分辨率动态地形研究[C]//总参南京创新工作站第四届学术报告会论文集. 北京: 军事谊文出版社, 2005.
- [6] 张琦, 孙劭文. 履带式工程车辆训练模拟器动力学建模及实现[J]. 中国机械工程, 2006, 17(增刊): 392-394.