

支持 HLA 的战场态势仿真系统设计与实现

马亚明^{1,2}, 张亚军¹, 张江水¹, 武丽丽¹

(1. 解放军信息工程大学测绘学院, 郑州 450052; 2. 中国人民解放军 63870 部队, 华阴 714200)

摘要:采用共享内存的方式,设计一种支持高层体系结构的战场态势仿真系统体系结构。通过引用“快照”概念,在逻辑层面消除了静态与动态态势目标的区别,以内存结构一致的方式管理。分析系统实现中仿真数据更新流程、轨迹数据实时插值、动态图层可视化优化等关键技术。在实验与实际应用中证明了该仿真系统的可行性与合理性。

关键词:高层体系结构;战场态势;快照;共享内存;特效管理;仿真推演

Design and Implementation of Battlefield Situation Simulation System Supporting HLA

MA Ya-ming^{1,2}, ZHANG Ya-jun¹, ZHANG Jiang-shui¹, WU Li-li¹,

(1. Institute of Surveying and Mapping, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450052;

2. 63870 Troops, PLA, Huayin 714200)

【Abstract】 By using shared memory, this paper designs the architecture of the battlefield situation simulation system supporting High Level Architecture(HLA) and puts forward the conception of snapshot, which eliminates the distinction between static and dynamic object at the logical level, and manages all the situation objects with the same memory structure. It discusses several key technologies on implementing the system, which includes the updating flowchart of simulation data, real-time interpolating of track data, visualization optimizing of dynamic layer. The system is feasible and logical in experiment and practice.

【Key words】 High Level Architecture(HLA); battlefield situation; snapshot; shared memory; special effects managing; simulating scenario

1 概述

在信息化战争中,指挥人员要想做出正确的军队行动计划,准确、及时、高效地实施指挥、控制,必须能够及时和充分地把握作战空间的状态、行动和环境信息^[1]。战场环境包括两方面的信息:基础地理环境信息和战场态势信息。基础地理环境信息的可视化与分析等功能可以由 GIS 基础平台提供。战场态势仿真系统可以帮助指挥官实时、准实时地了解作战态势的发展,进而快速、准确、自信地交流作战意图,实施决策指挥;还可以通过对多种作战方案进行态势仿真推演,综合比较、分析各种方案,发现敌方的战略突破点,查找我方的漏洞与不足,从而制定最佳态势部署方案,最终把握战争局势。

近年来,各国军队陆续研制了一些针对某种武器平台或某兵种的仿真应用系统,在各自的军事训练、演习中发挥了一定作用^[2]。但总的说来存在 3 方面的不足:

- (1)系统之间孤立,不能协同工作;
- (2)集中研究开发引人注目的三维仿真应用;
- (3)研究侧重局部地形、武器性能、武器对抗等微观方面仿真,不能从整体上展现战场态势。

另外,随着需求的不断增加和海量战场环境数据的日益剧增,单个系统很难满足不同部门的多层次需求。这种现状不利于信息化战争中各级作战单位之间的战场态势感知共享,严重影响多兵种联合部队一体化作战的能力。因此,迫切需要研究、开发支持分布式应用且能反映总体战场态势的

战场态势仿真系统。

2 高层体系结构

高层体系结构(High Level Architecture, HLA)是支持分布式仿真的最先进技术。基于 HLA 的仿真应用包括 3 部分:联邦成员集合,RTI,盟员与 RTI 的交互接口^[2-3]。RTI 接口与特定的对象模型和联盟数据的交换无关,从功能上说,它是联邦成员之间的数据交换协议。HLA 接口规范提供了联邦成员和 RTI 交互的标准,包括联邦成员获得 RTI 的服务及 RTI 对请求的响应。RTI 在功能上相当于联盟的分布式操作系统,提供了一套通用的服务,以支持仿真系统在盟员间的交互和联盟管理方面的作用。盟员间所有的交互都通过 RTI 完成。

文献[3-4]论述了 RTI 的结构与实现、基于 HLA 的联盟执行中联邦成员与 RTI 的通信流程以及联邦执行过程等问题。限于篇幅,本文侧重仿真的领域业务开发,着重描述战场态势显示联邦成员的设计与实现。为了方便态势仿真,本文的战场态势显示系统可以独立运行,而且稍加改动即可作为联邦成员参加联邦执行。

3 战场态势数据分类

从不同的角度和标准出发,态势数据有不同的分类结果。例如按照态势目标归属可以分为敌军态势、我军态势、友军态势;按照目标信息的空间相关性可以分为几何态势数据、

作者简介:马亚明(1980-),男,工程师、博士,主研方向:地理信息系统;张亚军、张江水,讲师、博士;武丽丽,硕士
收稿日期:2008-07-14 **E-mail:** shuimiao@163.com

专题态势数据。本文根据态势目标的空间位置与时间的相关性，将战场态势目标分为静态目标和动态目标。静态目标一般指军事建筑物，如机场、指挥所、反导阵地、雷达阵地、常规导弹发射阵地、待打击军事目标，其共同特点是空间位置通常不随战场态势的变化而变化，即几何坐标数据不变，只有属性信息会发生改变，如机场被摧毁、机场剩余的待参战战斗机减少、敌方军事目标被摧毁。动态目标一般指参与实际战斗的武器，如坦克、轰炸机、导弹，其共同特点是空间位置和属性信息通常都随着战场态势的变化而变化，如飞机、导弹在飞行过程中空间位置的改变，坦克、战斗机被敌方打中后武器杀伤效果降低。

4 支持 HLA 的体系结构设计

根据战场态势仿真的需要，整个仿真系统的联邦成员可以分为：各类武器联邦成员，如坦克、飞机、导弹，它们负责生成、发布仿真数据；管理盟员，负责想定计划的生成、发布命令等；态势信息可视化盟员；三维虚拟场景盟员，主要负责展现局部态势；GIS 平台盟员等。也可根据具体情况作适当调整。系统的基础地理信息由 GIS 平台盟员负责管理。态势信息显示成员的软件可以分为 2 部分：(1)在 HLA 中作为一个联邦成员时，与其他成员的交互接口“共享内存”；(2)态势目标的爆炸、被监控、闪烁等“特效管理”。它作为独立系统使用时增加“仿真数据源”模块，这时态势显示系统 3 部分的关系及各自体系结构的 UML 框图如图 1 所示。

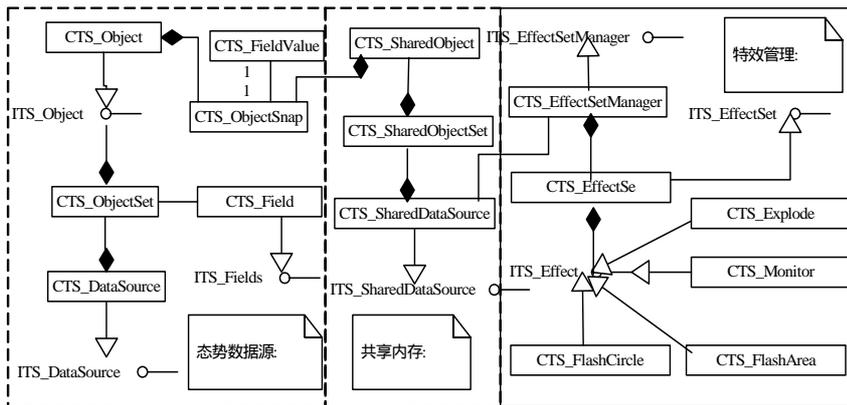


图 1 系统 3 部分关系及体系结构

在系统设计过程中，笔者充分利用了组件(COM)思想，对外部需要调用的每个类都添加接口。因此，系统具有如下的优点：(1)提高了模块的封装性，降低了模块之间的耦合性；(2)每个模块都是一个组件，使用时只需要对用户暴露接口文件，增强了代码的安全性；(3)可以支持代码的二进制级别的重用。

4.1 仿真数据源

本模块的作用是在系统不作为 HLA 的联邦成员时管理系统的仿真数据。动态目标的几何数据是它们的运行轨迹数据，静态目标如军事建筑物的几何数据通常是定位数据。

为了在逻辑层面消除它们之间的区别，用统一的方式使用和管理它们，这里引入“快照”的概念。“快照”意为动态目标在某时刻 T_1 的瞬时状态，这个状态包括目标的即时位置、即时速度、即时方向和所有其他属性，它实际上是对一个目标实体的属性和行为在时刻 T_1 的抽象，对应类 CTS_ObjectSnap。一个“快照”可以形象地理解为拿照相机对运动物体所拍的一张照片。这样，对于所有的态势目标，

它们的任何属性或行为的改变都可以映射为一个新增的“快照”，每个快照的属性字段值都存在 CTS_FieldValue 中，目标则抽象为快照的集合 CTS_Object。

同种类型的所有目标组成目标集 CTS_ObjectSet。每个目标集的属性字段信息都由 CTS_Fields 管理，它是目标集的元数据。整个态势数据源抽象为 CTS_DataSource，由不同类型的目标集组成。

4.2 共享内存

在基于 HLA 的分布式仿真应用中，作为联邦中的一个成员，必须提供与其他联邦成员的交互接口，这可通过调用 RTI 接口对象来实现盟员对 RTI 的服务请求及请求应答。RTI 提供了 libRTI 库，库中包括 RTIAmbassador 和 FederateAmbassador 2 个核心类。RTIAmbassador 类实现了由 RTI 提供的服务，如对象的注册、属性更新、对象删除、交互发送，盟员调用 RTIAmbassador 类的方法对联盟发出服务请求。FederateAmbassador 是个抽象类，定义了盟员必须实现的回调函数，如对象的发现、属性的反映、对象删除、交互的接收，这种回调函数机制是联盟通知盟员的方式。盟员与 RTI 之间的接口是由 FederateAmbassador 和 RTIAmbassador 2 个对象实现的^[3]。共享内存的作用是在仿真时通过网络实时接收联邦中的态势信息提供成员发送的数据。系统作为联邦成员时，共享内存模块的接口要从 FederateAmbassador 派生，以便接收其他联邦成员发送的态势数据。

由于共享内存与仿真数据源所描述的对象是相同的，采用同样的方式抽象态势实体，因此它们的结构总体应该是一致的。与仿真数据源不同的是，共享内存存在联邦中通过网络实时接收态势信息，所以，任何态势实体都只有一个当前的“快照”，将共享内存的态势实体抽象为 CTS_Shared Object。为了在仿真系统中实现对动态目标轨迹线的控制，共享内存还要存储一次仿真或推演的所有轨迹数据，对于静态目标，它的轨迹数据则只有一个点。同类目标的集合为 CTS_Shared ObjectSet。共享内存的最上

层是 CTS_SharedDataSource。

4.3 特效管理

战场态势目标还包括许多特殊状态，如飞机或导弹等的爆炸、被检测到、被监控、查询目标的闪烁，系统还要支持这些特效的仿真。本模块抽象出所有特效的超类 CTS_Effect，各种不同的特效只需要实现该接口；所有同类特效对象组成特效集合 CTS_EffectSet；最上层用 CTS_EffectSetManager 管理这些特效集合，将它关联到共享内存的数据源 CTS_SharedDataSource，数据源和特效集合管理器 CTS_EffectSetManager 在整个系统中都是唯一的。特效数据集与普通数据集所不同的只是具体的绘制代码，处理思想完全一样。这种方案的优点是：(1)与普通数据集相对独立，可以单独管理特效数据集，特效容易实现；(2)在绘制态势信息时不用再逐个遍历所有目标，大大提升了可视化速度。

5 系统关键技术

5.1 仿真数据更新流程

在态势推演过程中，为保证态势信息可视化系统的实时性，只对动态目标层(准)实时刷新，静态目标层的态势信息

更新则通过消息机制通知视图。利用操作系统的3个定时器，分别负责数据更新、动态图层绘制和特效处理。前2个定时器刷新频率设置要保持一致，这里为100 ms；特效处理定时器频率可以根据情况设置，这里为25 ms。推演期间的数据更新流程如图2所示。

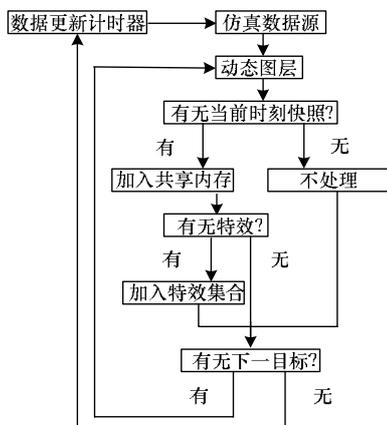


图2 态势推演数据更新流程

5.2 轨迹数据的实时插值

在应用中，态势数据量庞大，尤其是动态目标的轨迹数据，因此它的存取速度是系统的效率瓶颈。轨迹数据是实时的，通常理论上每隔0.1 s对应一个轨迹点，但是实际存储和传输的态势数据往往只有一小部分采样点，一般1 s左右记录一个轨迹点。这样可以在保持轨迹线形态的情况下，极大地减少储存和传输的数据量。所以在态势信息可视化时，如果需要用到的时刻 T_i 的轨迹点没有记录下来，则需要系统由时刻 T_i 前后的若干个已知记录的轨迹点解算出轨迹点 $Track Point_i$ ，即需要插值计算大量未知的轨迹点。关于插值算法，有很多成熟的理论与技术，如三次多项式插值、线性插值。由于态势信息的实时性很强，算法的效率优先，因此采用线性插值。这样既不影响态势信息可视化，又不增加数据量。

5.3 动态图层可视化优化方法

虽然通过只刷新动态图层的机制极大地提高了系统运行速度、减少了消耗的资源，但在态势数据量庞大、保持高刷新率的情况下，如果每个军标都用矢量符号绘制，目前的硬件还是不能负荷。笔者作了实验，采用CPU为Pentium 4 2.4 GHz、内存768 MB的计算机，只加载背景图和一个具有1 000个飞机的动态图层，飞机全用矢量军标绘制时，2 s多才能绘制完毕，远远达不到实时系统的要求。本文给出的解决方案是：用贴位图图片方式代替绘制矢量军标，系统初始化时将所有用到的图片都装入内存，并常驻内存。做好的图片上目标图像是固定的，不能根据需要改变方向和大小，根据实验结果，针对每种目标做大小不同的3个级别图片：16×16像素，24×24像素，32×32像素，分别适用于一定的比例范围；同时，将一个圆周360°自0°起平分16(飞机)或36(导弹)份，每份对应一帧图片。这样，仿真过程中就能得到与矢量军标一样的视觉效果，但速度却提高了10多倍。

6 应用分析与结论

利用本文设计的系统体系结构，笔者基于国产商业GIS平台SuperMap实现了支持HLA的战场态势仿真系统。其中，SuperMap主要负责提供基础地理空间信息可视化的支持以及基本的图形操作功能。笔者利用该系统做了下面的实验，将预插值轨迹点和实时插值轨迹点2种方案作对比。利用模

拟的仿真数据进行态势推演，仿真的数据量为100 MB，推演时间108 000记录单位，记录周期0.100 0 s，先后共出现各类动态目标406个，实际记录轨迹点433 948个，理论轨迹点数4 336 940个。表1是2种仿真方案的性能对比，所有机器的CPU为1.5 GHz Pentium 4，内存768 MB。

表1 2种仿真方案性能对比

仿真方案	数据装载时间/s	内存占用/KB	内存轨迹点
预插值轨迹点	143	2 436 448	4 336 940
实时插值轨迹点	11	245 528	433 948

因为是仿真实验，所以系统初始化时要把数据先装入内存，其中，预插值方案共有内存存储插值点3 902 992个，增加数据量是原始数据量的3 902 992/433 948=9倍，内存多占用2.2 GB。显然，实时插值轨迹点的方案是合理、高效的。在实际应用中，系统通过网络实时接收态势数据，内存则只有当前时刻的态势数据，消耗资源很少。图3是系统进行态势推演的效果。

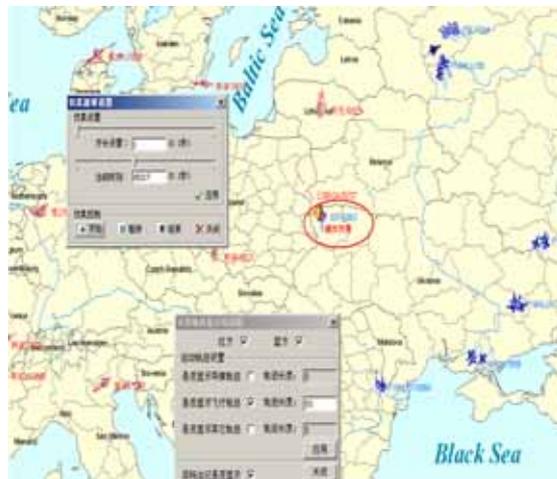


图3 态势推演控制与轨迹设置

本文设计实现的战场态势仿真系统具有如下特点：

- (1) 具有推演控制、轨迹控制、军标定制、动态目标查询、静态目标查询、态势部署查询、想定功能演示、与三维态势系统一体化同步推演等多项功能，功能强大、完备。
 - (2) 整个推演过程形象生动，态势目标会随着地图比例尺的缩放而缩放，并且可以随用户意愿进行调整，调整结果可以保存，视觉效果良好。
 - (3) 查询到的目标或态势部署情况会在屏幕上闪烁3次(由用户指定)，且可在属性框查看其具体信息，动态目标可显示或隐藏轨迹线，并可依据比例尺情况调整轨迹线长短，界面友好。
 - (4) 系统结构中将特效集合与普通目标集合分开，爆炸、闪烁等特效实现与管理方便，节省了数据遍历时间，提高了效率。
 - (5) 动态图层采用分级位图图片代替矢量军标，并实时插值轨迹线，大大提高了可视化速度，减少了资源消耗，系统的任何图形操作流畅，运行稳定、高效，CPU占用率为16%~20%。
- 该系统已经应用于多个部门的实际工程并得到了一致的好评，验证了其体系结构的可行性与合理性。

(下转第270页)