

装备分布式虚拟维修训练云仿真关键技术

朱东方^{1*}, 苏群星², 刘鹏远¹

(1. 军械工程学院 导弹工程系, 石家庄 050003; 2. 武汉军械士官学校, 武汉 430075)

(*通信作者电子邮箱 zdf861014@163.com)

摘要:传统分布式虚拟维修训练系统仿真任务和仿真设备耦合度高,系统仿真效率低,扩展困难;同时,作为分布式交互支撑的高层体系结构(HLA)和运行支撑框架(RTI)仅适用于局域网络,无法实现大范围的仿真资源共享和维修协同互操作。借鉴云计算和云仿真思想,提出了一种应用于装备虚拟维修训练领域的云仿真体系结构和框架实现方案;研究了面向Web服务的广域网RTI组件层次化体系结构,设计了基于Web服务的仿真邦员,实现了仿真过程监控和远程邦员任务迁移功能;基于最小调度法实现了仿真平台的动态负载平衡,研究了平台的可视化仿真功能和仿真数据的分布式存储技术。在此基础上完成了某型装备的虚拟维修训练网络化仿真开发,初步证明了虚拟维修训练云仿真的可行性和有效性。

关键词:运行支撑框架组件;虚拟维修训练;云仿真;云计算

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Key technology of cloud simulation for distributed virtual maintenance training system

ZHU Dongfang^{1*}, SU Qunxing², LIU Pengyuan¹

(1. Department of Missile Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang Hebei 050003, China;

2. Wuhan Ordnance Noncommissioned Officer School, Wuhan Hubei 430075, China)

Abstract: It is tightly coupled between the simulation task and equipment in traditional distributed virtual maintenance training systems, so the system simulation running is inefficient and difficult to expand. In addition, the simulation resource sharing and maintenance cooperation is also a big problem. In order to solve these problems, the infrastructure and realizing framework of cloud simulation were put forward for the application in weapon's virtual maintenance training field. The multilayer infrastructure of Run Time Infrastructure (RTI) component was studied. The key techniques were settled, such as federated members excoitation and transport, simulation process monitoring, simulation visualization and distributed storage. The virtual maintenance system was developed based on cloud simulation technologies, which indicated that cloud simulation was feasible and effective.

Key words: Run Time Infrastructure (RTI) component; virtual maintenance training; cloud simulation; cloud computing

0 引言

虚拟维修训练仿真以其经济、安全和不受天气场地限制^[1]等优点,已成为提高装备维修训练水平和保障能力的重要手段。高层体系结构(High Level Architecture, HLA)是美国国防部于1996年提出的新一代分布式仿真框架,它针对现有仿真技术的不足,通过运行时间支撑框架(Run Time Infrastructure, RTI)软件管理各仿真应用,提供较好的重用性和互操作性,以保证不同类型的仿真应用能够协调工作,完成复杂的仿真。目前,现有基于HLA/RTI的大型复杂装备分布式虚拟维修训练仿真系统受自身局限性制约,仿真任务和仿真设备耦合紧密,系统仿真效率低下,维护困难;另外,仿真资源仅限于小范围的共享,利用率不高。如何突破系统开放性、灵活性、使用性等制约,丰富虚拟维修训练仿真技术内涵与应用模式,促进大范围仿真资源共享和协同互操作,拓展分布式仿真的范围和层次,满足多样化的仿真训练需求,是亟须解决的问题。

当前兴起的云计算^[2]技术使用相对集中的计算资源为

各种应用提供服务,它充分利用网络和计算机技术实现大范围的资源共享和服务,能够极大提高资源利用效率,扩展仿真应用范围,是解决装备分布式虚拟维修训练仿真所面临问题的有效途径之一。

将云计算应用于仿真领域,2009年李伯虎院士^[3]提出了“云仿真”的概念并介绍了需要解决的关键技术,为云计算与虚拟现实仿真的结合指出了可行路径。杜瑾^[4]在分析现阶段我军训练模拟仿真系统不足之处基础上,将云计算理念融入到训练模拟仿真系统之中,提出了一种新的训练模拟云仿真平台的体系结构,对构建军事训练云仿真平台的必要性和可行性进行了有益的探索。张雅彬等^[5-6]研究了基于虚拟化技术的云仿真运行环境动态构建技术和云仿真资源迁移技术,并论证了各项技术的可行性和有效性。华翔等^[7]和杨晨等^[8]分别在可视化仿真和云制造领域引入云仿真思想,提出了可视化仿真的私有云框架和面向云制造的云仿真支撑框架,并对相关技术进行了研究。高武奇等^[9]针对现有HLA仿真资源难以与Internet共享使用的问题,提出了一种基于HLA Evolved的云仿真体系结构和框架实现方案,并通过云

收稿日期:2013-05-03;修回日期:2013-06-14。

作者简介:朱东方(1986-),男,河南上蔡人,博士研究生,CCF会员,主要研究方向:武器系统仿真、分布式交互;苏群星(1962-),男,辽宁锦州人,教授,博士生导师,主要研究方向:武器系统建模、仿真与故障诊断;刘鹏远(1975-),男,河南永城人,副教授,主要研究方向:武器系统虚拟维修。

仿真测试实验,证明了基于 HLA Evolved 的云仿真设计方法可行、有效。以上研究思路和内容开展面向装备虚拟维修训练领域的云仿真研究打下了良好的基础。本文在云仿真思想的指导下,结合虚拟维修训练仿真特点,研究了装备分布式维修训练领域云仿真平台构建关键技术,包括交互模式、平台框架、基于云端的分布式交互仿真支撑、可视化仿真、多任务负载均衡策略和分布式存储等。

1 装备维修训练云仿真内涵

虚拟维修训练云仿真平台以装备虚拟维修训练应用需求为背景,以云计算及云仿真实念和技术为指导,综合应用虚拟现实和虚拟维修领域的建模仿真等相关技术,实现系统中各类资源安全地按需共享与重用、多用户按需协同互操作以及系统动态优化调度运行,进而支持虚拟维修训练系统的分布式开发与装备分布式协同维修和操作训练,是装备虚拟维修训练领域的仿真资源云计算模式共享平台。具体包括以下功能:1)支持各种软硬件资源,如 CPU、内存、带宽、存储、操作系统、仿真软件等的共享与重用;2)提供类似于 MFC 的训练仿真系统基础框架,同时封装仿真功能模块以服务方式提供,用户可定制基础框架并使用仿真功能模块服务进行仿真系统的个性化构建,从而提高虚拟维修训练仿真系统的开发效率;3)构建基于 Web 的 RTI 服务,实现广域网条件下的仿真互操作,支持装备大范围分布式维修训练仿真。

虚拟维修训练云仿真平台的基本思想是将分散的武器装备训练资源、仿真资源等集中到一个或多个中心,对各种资源进行服务化封装,向网络终端提供服务并监控、调度其运行状态。受当前互联网传输速度和信息安全等制约,虚拟维修训练云仿真平台初步采用基于广域网的私有云仿真网络架构。根据仿真资源功能的不同,仿真中心的服务大体可分为训练服务和开发服务两类,前者提供武器装备的维修训练仿真,后

者则提供开发环境用于虚拟维修训练系统的在线开发和测试。仿真平台的应用模式如图 1 所示。

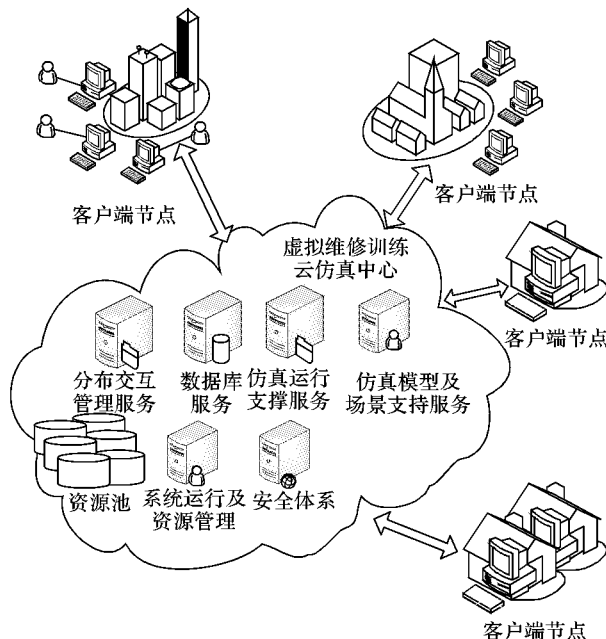


图 1 虚拟维修训练云仿真应用模式

云仿真的终端用户可以是单个节点,也可以是局域网集群节点,通过广域网络与云仿真中心进行交互,同时,客户端可以是瘦客户端,配备显卡等基本显示部件和交互设备,不需要高性能的处理和存储能力,就可以基于云仿真平台实现复杂装备的虚拟维修训练与开发。

2 虚拟维修训练云仿真体系结构

虚拟维修训练云仿真是一种面向服务的装备维修训练仿真平台,具有层次化的体系结构,如图 2 所示。

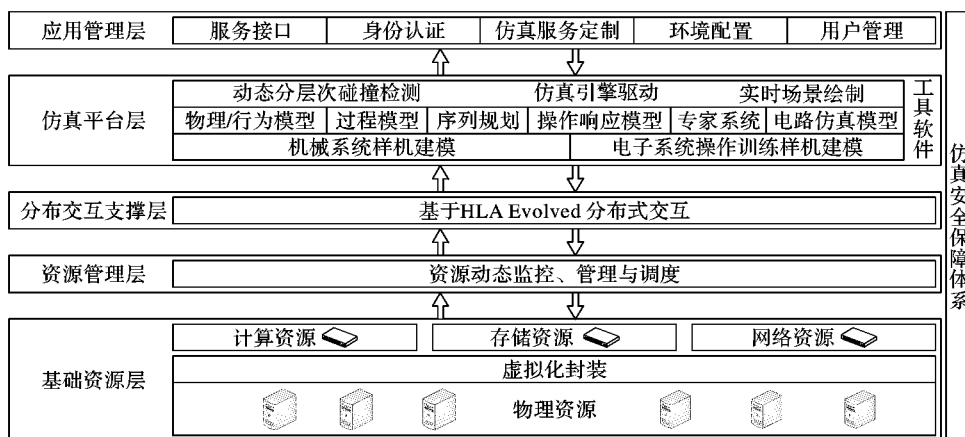


图 2 虚拟维修训练云仿真框架

该体系结构包括五层:基础资源层、资源管理层、分布式交互支撑层、仿真平台层和应用管理层,同时构建完备的信息安全保障体系,确保军事信息及数据的安全传输和使用。

基础资源层 包括计算机、存储器、网络设备等,采用虚拟化技术,对若干物理资源进行抽象,根据用户的需求进行动态分配,实现内部流程自动化和资源管理优化,从而向外部提供动态、灵活的基础设施层服务。虚拟化技术分为服务器虚拟化技术和桌面虚拟化技术。基于 Xen 的虚拟机 (Virtual Machine, VM) 可通过 LibVirt 进行管理^[10], LibVirt 支持对包括 Xen、KVM、QEMU 在内的多种 VM 的管理。VMware 提供 VIX API (Vix) 对 VMware Workstation 上运行的 VM 进行管

理^[11], Vix 简单易用,可以在脚本或应用程序中调用。为满足不同用户对虚拟化效果的不同要求,本文以 Xen + LibVirt 为基础实现服务器虚拟化,同时以 VMware Workstation + Vix 为用户提供了较高质量的桌面虚拟化环境。

资源管理层 负责对对虚拟化的基础资源进行动态监控,对云仿真平台的资源进行管理,并对众多应用任务进行调度,确保资源的合理分配,使资源能够高效、安全地为仿真应用提供服务。

分布式交互支撑层 为广域网条件下的装备协同仿真提供功能支撑,是云仿真平台构建分布式虚拟环境并在其中进行自然交互的基础。通过设计分布式的体系结构,能够更好

地满足仿真过程中多个用户之间的协同互操作。而传统 HLA/RTI 的分布式架构不具备跨平台功能,难以全面支持面向网络的分布式交互,无法满足云仿真模式对分布交互的需求。基于 HLA 最新标准 HLA Evolved 建立面向 Web 服务的分布式仿真环境以支持协同交互和仿真互操作,该仿真支撑框架与原有 HLA1.3 和 HLA1516 联邦仿真兼容,保证基于 p-RTI/MAK-RTI 的联邦仿真可以通过局域网实现仿真,同时通过 Web 组件与云仿真中心端进行交互,能够满足“云中心—训练终端”和“训练终端—云中心—训练终端”的交互模式。

仿真平台层 仿真平台层提供虚拟维修系统开发和训练功能支撑,其主要具有以下功能:1) 提供并维护虚拟维修训练所需的模型和软件等仿真资源,包括可定制的仿真基础框架、分布式虚拟场景模块和通用维修工具等仿真资源服务,这些仿真资源用以快速构建虚拟维修训练仿真环境,同时还支持自主建模,模型资源上传开发等应用;2) 在计算资源弹性可伸缩的基础上,提供场景绘制、碰撞检测等分布式算法服务模块,在资源虚拟化基础上通过分布式仿真算法提高仿真解算效率,从而为基于云仿真平台开发和运行的虚拟维修训练系统提供更高的实时性和更逼真的仿真效果。

应用管理层 为用户提供交互界面和服务选项,以直观的形式提供仿真服务,包括虚拟维修系统开发服务、训练服务、协同训练和开发服务等。使用网页浏览器进入门户,获得登录使用仿真任务开发和训练权限,用户就可以按其所需,通过相应仿真应用软件和平台工具获取需要的建模仿真服务。

信息安全保障体系采用各种有效措施,保证平台运行全过程的装备资源和用户数据等信息安全。

3 分布式虚拟维修训练云仿真关键技术

3.1 RTI 平台服务化

3.1.1 分布式交互支撑 RTI 层次化框架

云仿真平台要求 HLA/RTI 要以服务的形式部署在云端,提供给用户使用。当前的解决方案是使用 Web 服务技术对 RTI 进行不完全扩展,使其满足云仿真平台分布式交互支撑的需求。文献[12]中讨论使用 Web 服务 API 对 HLA 进行扩展,并提出 Web 服务代理 RTI 组件(Web Service Provider RTI Component, WSPRC)的概念。

面向 Web 服务的云仿真平台分布式交互支撑 RTI 层次化框架如图 3 所示。中心服务器管理和服务的对象是 RTI,仿真过程中,它接受各个 RTI 的相关协调服务请求,并向单独的或所有的 RTI 发送服务请求的处理结果,具体功能如下:协同动态负载均衡调度;管理需要全局协调管理的服务;与各个 RTI 之间进行通信,将全局数据和服务的处理结果分发给各个 RTI。负载均衡系统负责在 RTI 服务申请用户负载过大时将客户端的任务请求分发到不同的服务器,以达到资源的优化利用和快速反馈,从而增强云仿真平台分布式交互支撑的稳定性与伸缩性。CRC 是中心 RTI 组件,进行集中式协调操作。Web 服务 API 联邦成员通过 Internet 连接到 WSPRC,创建联邦或加入已有可用联邦。LRC 是本地 RTI 组件,支持 C++、Java 等联邦成员。

3.1.2 仿真交互过程及邦员设计

WSPRC 位于云服务器端,提供了一个或多个端口,端口指向联邦成员,众多基于 Web Services 开发的联邦成员可以连接到同一个 WSPRC,就像多个网页浏览器可能会连接到相同的 Web 服务器。WSPRC 采用会话(session)来维护成员的

状态,当一个 Web 服务成员通过一个指向 WSPRC 的 URL 加入联邦时,WSPRC 则为其创建并维护一个 HTTP 会话,以后 Web 联邦成员的访问都在此会话中进行,当 Web 联邦成员退出联邦执行时,会话被服务器销毁。当网络或者某一成员出现故障导致连接断开时,WSPRC 会把该成员的会话保持一段时间,如果在允许的时间范围内恢复连接,则仿真应用继续运行;同时,WSPRC 会周期性地检查所有会话,并自动终止超时的会话,释放其占用的内存。

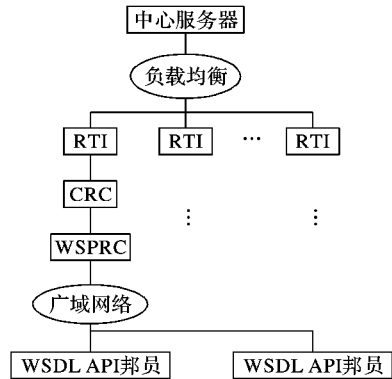


图 3 分布式交互支撑 RTI 层次化结构

在一个联邦中,为降低单个 WSPRC 的负载,可以使用多个 WSPRC。受传入和传出更新率的限制,每个 WSPRC 最多只能连接 5 到 10 个联邦成员^[9]。运行过程中,Web 联邦成员利用中心节点提供的 RTI 服务实现客户端的服务请求,完成仿真过程中的交互。如图 4 所示。

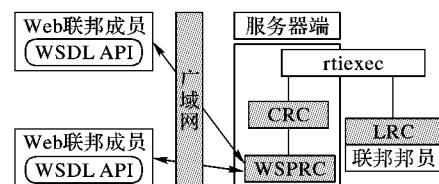


图 4 基于 WSPRC 的仿真交互过程

同一个联邦中联邦成员可以使用不同开发语言 API,某个特定的联邦成员使用哪个 API 对联邦和联邦成员是透明的。HLA Web 服务 API 是用 Web 服务描述语言描述的。它是对服务的精确描述而不是一个实际的编程 API,也称为 WSDL API。支持直接将函数声明转化为 WSDL 的工具软件有很多,有 IBM、Microsoft、Sun 这样的公司提供的商业版工具,以及 Apache Axis 等开源社区提供的免费版工具。

3.2 分布式交互仿真训练过程监控

在云仿真过程中,需要对训练和开发的过程进行实时监控,监视仿真中各成员的状态信息,控制仿真的进度,确保仿真的正确运行。云仿真平台提供仿真联邦监控工具实现以上需求。仿真监控工具以仿真联邦成员的角色加入一个仿真联邦,成为监控联邦成员。监控联邦成员承担维修训练仿真教练机的角色,对联邦仿真过程进行监控,监控联邦成员也可以由某个联邦成员担任,赋予其联邦监控职能。监控联邦成员采集仿真联邦成员实时状态信息,上传并存储于云端数据库,各个联邦成员可以订购对其他成员感兴趣的信息,随时查看其他成员的实时状态。

监控联邦成员采集的监控数据包括管理对象模型(Management Object Model, MOM)信息,以及仿真过程中联邦成员通过服务化的 RTI 发生的交互数据信息。MOM 信息包括联邦成员名称、句柄、类型等静态信息,成员更新/反射数据量、发送/接收交互次数等动态信息以及时间管理状态、前瞻

量、逻辑时间等与仿真有关的时间信息,仿真成员间的交互数据信息包括成员发布/订购的信息,与仿真模型以及自身状态等有关的信息。

在管理对象模型中提供了详细的联邦和联邦成员的信息,可以通过订购管理对象模型对象类各个子类的属性来实现对联邦和联邦成员情况的监视。对对象类属性的订购遵循 HLA 的订购机制, RTI 对管理对象模型对象类属性值更新后,总控联邦成员反射其更新值并完成相应的操作。下面以订购联邦成员的 ID 号为例说明订购和反射的实现:

第 1 步 订购对象类子类的属性。

```
Subscribe()
{
    /* (1) 获取要订购的对象类句柄和属性句柄 */
    pManagerHandle_struct -> _ManagerId = _rtiAmbassador.
    getObjectClassHandle("Manager. Federate") //获得对象类句柄
    pManagerHandle_struct -> _FederateId = _rtiAmbassador.
    getAttributeHandle("FederateId", pManagerHandle_struct ->
    _ManagerId); //获得对象类属性句柄
    /* (2) 对象类: 创建要订购的对象类属性集 */
    RTI :: AttributeHandleSet * ManagerHandles_AHS =
    RTI :: AttributeHandleSetFactory :: create(1);
    //创建对象类可以更新的属性集
    ManagerHandles_AHS -> add(pManagerHandle_struct ->
    _FederateId); //把可以更新的属性加入属性集
    /* (3) 订购对象类 */
    _rtiAmbassador. subscribeObjectClassAttributes(pManagerHandle_struct ->
    _FederateId, * ManagerHandles_AHS);
    /* (4) 撤销属性集 */
    ManagerHandles_AHS -> empty();
    delete ManagerHandles_AHS;
}
```

第 2 步 反射属性值的更新。

```
reflectAttributeValues()
{
    /* 由于联邦成员可能订购了多个对象类,因而先要判断反射的
    对象类是否被本联邦成员订购 */
    if (_rtiAmbassador. getObjectClass(theObject) == pManagerHandle_struct ->
    _ManagerId)
    { (int) theAttributes. size()
    //表示的反射属性集中的属性值个数
    for (int i=0; i < (int) theAttributes. size(); i++)
    {
        //如果第 i 个属性为 FederateId, 取出值, 进行相应操作
        if (theAttributes. getHandle(i) == pManagerHandle_struct ->
        _FederateId)
        {
            相应的操作;
        }
    }
    }
}
```

3.3 联邦成员动态迁移

云仿真中的联邦成员动态迁移,是指在基于云端 RTI 进行分布交互的仿真系统运行期间,远程 WSDL 联邦成员对应的实例由一个 WSPRC 迁移到另一个 WSPRC,或者由一个会话迁移到另一个会话保持的过程。

联邦成员终端基于 WSPRC 组件与中心 RTI 进行分布交互,远程联邦成员只负责与 RTI 进行数据交互,本身无任何仿真逻辑,其状态信息主要是与 HLA 相关的状态,如仿真时间、

公布/订购内容、对象类实例情况等。远程联邦成员实例的迁移,关键是实现状态信息的中断、保存和迁移。

当某远程联邦成员需要迁移时,首先通知对应终端,终端收到通知后,在指定的 WSPRC 上创建与远程 WSDL 邦员的新连接。此时云端存在两个 WSPRC 分别维护同一个远程邦员的两个通信连接,相当于远程 WSDL 邦员在云端存在两个代理邦员。新的 WSPRC 完成与原 WSPRC 同样的公布/订购,获取仿真状态信息和维护的对象类实例所有权,并恢复到当前的状态。WSDL 远程邦员在放弃原 WSPRC 维护的对象类实例所有权后,断开与原 WSPRC 的通信连接。完成上述操作后,新的 WSPRC 通知终端,校准与 WSDL 远程邦员的时间关系,最终完成迁移。迁移过程如图 5 所示。

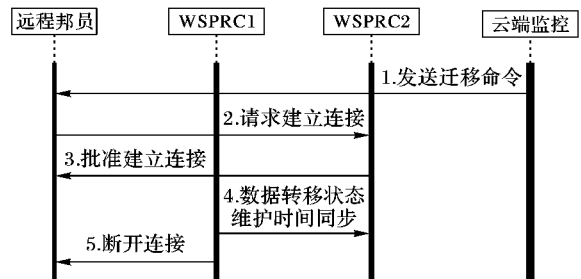


图 5 联邦成员动态迁移过程

3.4 云仿真模式下的负载均衡

虚拟维修训练云仿真平台支持大量用户的仿真运行,众多的仿真实体分布在不同的节点,随着仿真的进行,各个节点上的负载会发生变化,出现个别节点的负载比其他一些节点的负载要多很多的情况,即节点负载不平衡。负载的失衡会使整个系统的运行效率下降和容错性能下降,并有可能对仿真运行结果产生不良影响。设计负载均衡器对平台节点性能进行动态调整和维护,对仿真任务进行动态平衡,体系结构如图 6 所示。

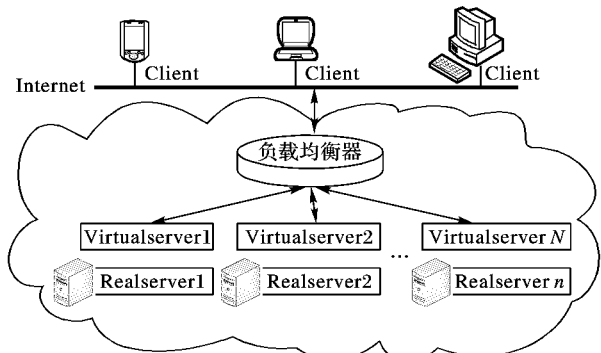


图 6 虚拟维修训练云仿真平台负载均衡器结构

在虚拟维修训练云仿真中心,任何一个虚拟服务器节点都可以用一种方式来抽象地描述其处理能力,例如用 P 来代表该节点的能力值,而阈值是两个临界值,令其为 L_1, L_2 ($L_1 < L_2 < P$),在当前节点的实际负载 E 比 L_2 大时,判定为超载节点,比 L_1 小时则判定为轻载节点, E 与 L_1, L_2 之间存在式(1)所示函数关系:

$$F(L_1, L_2, E, \lambda) = \begin{cases} \text{LightLoad}, & \lambda E \leq L_1 \\ \text{MiddleLoad}, & L_1 < \lambda E \leq L_2 \\ \text{HeavyLoad}, & \lambda E > L_2 \end{cases} \quad (1)$$

函数 $F(L_1, L_2, E, \lambda)$ 表明了超载、轻载和负载适中三种情况下 E 与 L_1, L_2 之间的关系。函数中 λ ($\lambda < 1$) 为影响因素,因为在系统实际运行中,有一些系统必须运行的任务,如

操作系统的运行和网络信息的维护等,这些任务也是节点实际负载的一部分,所以节点真正的任务负载小于实际负载 E 。

在实际应用中,各个仿真节点具有基本相同的处理性能,可假设 P 值相同。采用最小连接的动态调度算法实现对静态负载进行节点的监控、邦员调度等,具体描述如下。

- 1) 调度器记录各个服务器已建立连接的活跃节点数目,预估服务器的负载情况;
- 2) 当一个请求被调度到某台服务器,其连接数加 1;
- 3) 当连接中止或超时,其连接数减 1;
- 4) 根据调度器记录得出此时连接数最小的服务器,将新的连接请求分配到当前连接数最小的服务器。

通过上述方式,把负载变化大的请求分布平滑到各个仿真节点上,从而提高节点利用率和保持仿真运行中负载的有效平衡。负载动态平衡前后的虚拟服务器利用情况如图 7 所示。未使用负载均衡时,1 号和 2 号虚拟服务器节点利用率分别为 95% 和 92%,处于超载状态,而 3 号虚拟服务器利用率仅有 10%,利用率不足,属于轻载状态,负载严重不均衡。当仿真任务经由负载均衡器采用动态调度算法进行合适分发后,3 台虚拟服务器节点的使用率分别约为 70%,67% 和 60%,起到了平衡负载的效果。如图 7 所示。

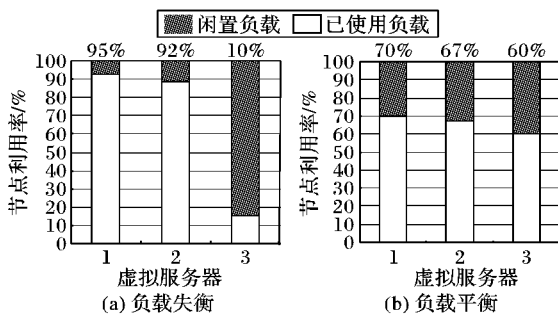


图 7 动态负载平衡

3.5 仿真平台层可视化仿真

可视化仿真技术是实现仿真结果实时可视化的核心技术,为使用者提供 2D/3D 的仿真可视化服务。可视化仿真主要完成三维实体模型的渲染、驱动。这些模型可以划分为静态实体模型和动态实体模型。静态实体模型指地面上一些文化特征,如建筑物、树木等;动态实体模型是指各种仿真实体模型,如车辆、机械系统等。

云仿真可视化门户采用 B/S 多层体系结构,分为功能驱动层、应用支撑中间件层、资源服务中间件层和可视化资源层。其中功能驱动层提供地形导入、动态场景更新、导弹动力学可视化等视景仿真功能模块;应用支撑中间件层提供视景仿真程序开发包,支持仿真可视化应用的快速开发;资源服务中间件层提供可视化资源查找、动态调度、可视化服务的封装和调用等基本功能操作;可视化资源层主要包括虚拟场景地形、虚拟样机几何模型等可视化模型资源。

即使在云仿真平台下,图形生成的真实性和实时性事实上也是突出的矛盾,图形越真实,则描述它所需数据量越大,计算处理的时间就会相应增长,从而影响图形生成的实时性。在保证虚拟环境的真实感的基础上,现有图像简化等技术(动态或静态层次细节、消隐技术、虚拟全景空间技术等)仍可以运用于云仿真平台,以提高场景绘制速度和虚拟仿真实时性。

3.6 仿真数据分布式存储

数据的存储和操作也以服务的形式提供,分布式存储要

求存储资源能够被抽象表示和统一管理,并且能够保证数据读写操作的安全性、可靠性、使用性。Cassandra 是一套高度可扩展、最终一致、分布式的结构化键值存储系统,它结合了 Dynamo 的分布技术和 Google 的 Bigtable 数据模型,能够满足海量数据存储的要求,解决了应用与关系数据库模型之间存在的非依赖关系。

Cassandra 的存储机制^[13]如图 8 所示。三个列族的 Key 值先记录在 Commitlog 中,Commitlog 则保存在独立的磁盘上。和 Bigtable 一样,Cassandra 的日志内容也同样需要按照键值进行序列化,然后将数据分别写入到三个 CF 所对应的 Memtable 中。Memtable 满足一定条件后批量刷新到磁盘,存储在 SSTable 的块上并设置保存块位置信息的索引(Index),Index 保存的是每个 Key 在数据文件中的偏移位置。当查找时,将 Index 加载到内存中,定位 Key 所属的块,从而实现快速查找。

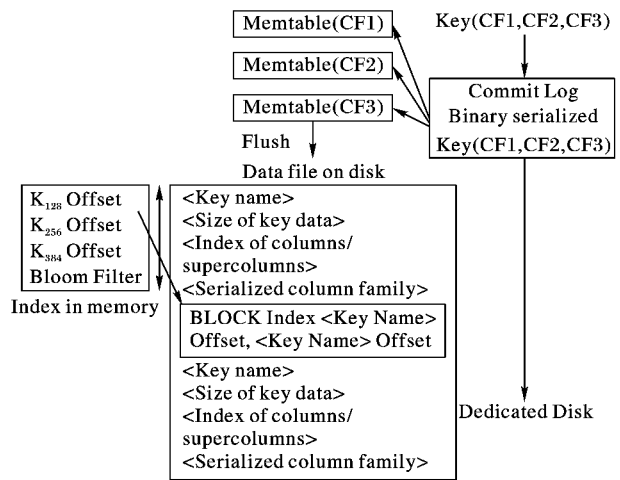


图 8 Cassandra 的存储机制

4 应用实例

综合运用云计算、虚拟化、虚拟现实仿真等技术初步构建网络化仿真平台,进行某型装备虚拟维修系统的开发和训练。该平台包括网上开发和训练集群、Web 服务器和存储服务器等,这些共同构成了仿真平台的基础设施。网上开发集群提供底层硬件资源、平台和软件的虚拟现实开发支撑服务;网上训练集群为基于中心展开的装备模拟训练提供各种虚拟维修训练支撑服务,包括虚拟维修训练、RTI Web 服务和 HLA 联邦管理服务等。项目开发可利用其中的 M&S 软件进行系统的开发;组织者可以统一管理开发资源,控制开发进程。网络化服务的资源使用方式避免了为每个项目单独配发硬件和软件工具环境,提高了资源的利用率,同时训练人员可以通过虚拟维修训练服务进行装备的协同仿真训练。某型装备的网上虚拟维修训练仿真过程如图 9 所示。

5 结语

初步研究表明,将云计算引入装备维修训练仿真领域,可以使用户获得快速、高性能的服务,有利于提高虚拟维修训练仿真系统开发效率,对促进大范围资源共享和仿真互操作具有意义。装备分布式虚拟维修训练云仿真还面临以下突出问题:1) 复杂协同仿真过程中服务化 RTI 的时间管理、数据分发等处理机制需要进一步研究;2) 分布式虚拟维修训练仿真涉及三维建模、过程仿真、人机交互、仿真驱动等多个环节,瘦

(下转第 2795 页)

记录所消耗的时间总体稳定,但是依旧上下起伏。

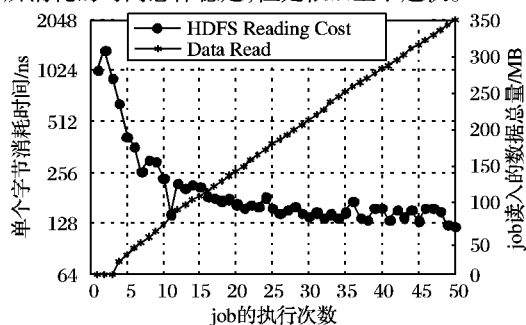


图 5 GenerateA job HDFS Read 代价

而由 1.1 节可知,Starfish 针对 job 产生优化数据依赖于 What-if 引擎,What-if 引擎使用 HPM 完成对 job 执行的各个阶段的时间代价的预测。因此,job profile 数据将最终影响 Starfish 针对 job 产生优化参数的值。由此可知,Nutch 的运行环境误差将会影响其后续 job 运行前优化参数的生成,最终影响优化效果。

2.4 实验总结

由实验可知,立足于 Hadoop 视角通过对 Nutch 运行时 Hadoop MapReduce job 优化参数进行生成的方式对 Nutch 进行优化,取得了一定效果。

同时优化效果受到 job 监测负荷和运行时环境误差的共同影响,监测间隔值的选择将很大程度上影响优化的效果。在本文实验集群环境下,当间隔值为 5 时,优化效果最好,Nutch 的爬行性能提高了 14%。

3 结语

本文分析了 Nutch 爬行时产生的 job workflow 特征,以 Hadoop 视角,基于 Starfish 针对 Nutch 运行时 job 生成优化参数,提高了 Nutch 的爬行性能。

但是依然存在较多问题,比如监测的间隔值需要进行不

断尝试才能找到较优值,修改后的 Nutch 版本部署较为繁琐以及 Starfish 本身调优的 job 配置参数数量有限等。下一步工作将会针对目前优化中所存在的问题进行解决。

参考文献:

- [1] The Apache Software Foundation. Apache Nutch™ [EB/OL]. [2012-12-11]. <http://nutch.apache.org>.
- [2] 詹恒飞,杨岳湘,方宏. Nutch 分布式网络爬虫研究与优化[J]. 计算机科学与探索, 2011, 5(1): 68-74.
- [3] DennisKubes. NutchWiki [EB/OL]. [2009-11-24]. <https://wiki.apache.org/nutch/OptimizingCrawls>.
- [4] Intel. Optimizing Hadoop* deployments[EB/OL]. [2010-10-08]. http://communities.intel.com/servlet/JiveServlet/downloadBody/5645-102-1-8759/Optimizing_Hadoop_2010_final.pdf.
- [5] Impetus Technologies Inc. Hadoop performance tuning[EB/OL]. [2010-11-16]. http://hadoop-toolkit.googlecode.com/files/White_paper-HadoopPerformanceTuning.pdf.
- [6] HANSEN C A. Optimizing Hadoop for the cluster[EB/OL]. [2010-04-17]. <http://www.scratchmytail.com/papers/cha030-optimizinghadoop.pdf>, 2012.
- [7] HERODOTOU H, LIM H, LUO G, et al. Starfish: A self-tuning system for big data analytics[EB/OL]. [2013-01-08]. http://x86.cs.duke.edu/~gang/documents/CIDR11_Paper36.pdf.
- [8] HERODOTOU H, BABU S. Profiling, what-if analysis, and cost-based optimization of MapReduce programs[J]. Proceedings of the VLDB Endowment, 2011, 4(11): 1111-1122.
- [9] Oracle Corporation. A dynamic instrumentation tool for Java[EB/OL]. [2013-02-08]. <http://kenai.com/projects/btrace>.
- [10] HERODOTOU H. Hadoop performance models[EB/OL]. [2013-01-20]. <http://www.cs.duke.edu/starfish/files/hadoop-models.pdf>.
- [11] YE T, KALYANARAMAN S. A recursive random search algorithm for large-scale network parameter configuration[J]. ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 2003, 31(1): 196-205.
- [12] DMOREIRA J E, MICHAEL M M, DA SILVA D, et al. Scalability of the Nutch search engine[C]// Proceedings of the 21st Annual International Conference on Supercomputing. New York: ACM, 2007: 3-12.

(上接第 2782 页)

客户端的终端用户与云中心交互频繁,数据传输量大,对实时性要求高,网络速度严重限制瘦客户端的分布式虚拟维修仿真;3)云仿真平台的军事数据、信息安全必须加以高度重视。

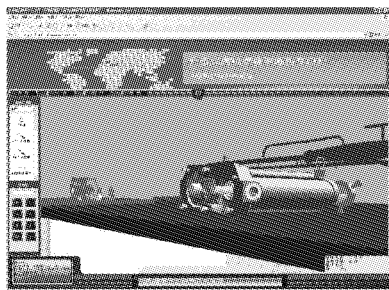


图 9 装备网络化仿真训练开发实例

参考文献:

- [1] 郭齐胜,张伟,杨立功. 分布交互仿真及其军事应用[M]. 北京:国防工业出版社,2003:21-23.
- [2] 陈全,邓倩妮. 云计算及其关键技术[J]. 计算机应用, 2009, 29(9): 2562-2567.
- [3] 李伯虎,柴旭东,侯宝存,等. 一种基于云计算理念的网络化建模与仿真平台——“云仿真平台”[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(17): 5292-5299.
- [4] 杜瑾. 云计算在军事仿真中的应用研究[J]. 电脑知识与技术,

2010, 6(25): 6995-6997.

- [5] 张雅彬,李伯虎,柴旭东,等. 基于虚拟化技术的云仿真资源迁移技术研究[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(6): 1268-1272.
- [6] 张雅彬,李伯虎,柴旭东,等. 基于虚拟化技术的云仿真运行环境动态构建技术[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(3): 619-624.
- [7] 华翔,康凤举,田学伟,等. 可视化仿真的私有云框架研究[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(8): 1652-1656.
- [8] 杨晨,李伯虎,柴旭东,等. 面向云制造的云仿真支撑框架及应用过程模型[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(7): 1444-1451.
- [9] 高武奇,康凤举,钟联炯,等. 一种基于 HLA Evolved 的云仿真技术研究[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(8): 1643-1646.
- [10] JONES T. Anatomy of the libvirt virtualization library[EB/OL]. [2010-05-06]. <http://www.ibm.com/developerworks/linux/library/1-libvirt/index.html>.
- [11] VMware. VMware Workstation[EB/OL]. [2010-06-08]. <http://www.vmware.com/cn/products/workstation/new.html>.
- [12] KATHERINE L M, DAVID L D, RYAN P Z B. Web enabling HLA compliant simulations to support network centric applications [EB/OL]. [2013-01-20]. http://www.dodccrp.org/events/2004_CCRTS/papers/172.pdf.
- [13] 刘鹏. 云计算[M]. 北京:电子工业出版社, 2012: 251-252.