

doi: 10.7690/bgzdh.2020.04.019

基于云计算的模拟飞行训练体系架构设计

李京伟

(海军航空大学模拟飞行训练中心, 北京 102488)

摘要: 为满足我军模拟飞行训练不断提升的训练需求, 设计一种基于云计算的模拟飞行训练体系架构。根据云计算特点, 提出面向服务的飞行仿真云概念, 依托超高性能网络, 构建模拟飞行训练体系。采用传统仿真技术, 应用分布计算、分布存储、分布缓存、数据同步、空间一致等手段对其进行设计, 并对体系的优势进行比较分析。应用结果验证了该体系可实现模拟飞行训练资源的高可用率、模拟器各分系统的可靠计算和数据存储。

关键词: 云计算; 模拟; 飞行训练; 体系架构; 设计

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Design of Flight Simulation Training Architecture Based on Cloud Computing

Li Jingwei

(Centre of Flight Simulation Training, Navy Aviation University, Beijing 102488, China)

Abstract: In order to meet the increasing training requirements of our military's flight simulation training, a cloud computing-based flight simulation training architecture is designed. According to the characteristics of cloud computing, the concept of service-oriented flight simulation cloud is proposed, and the flight simulation training architecture is constructed basing on ultra-high performance network. The traditional simulation technology is used to design while applying the technique of distributed computing, distributed storage, distributed cache, data synchronization and spatial coherency. Then the advantages of the system are compared and analyzed. The results show that the system can realize high availability of flight simulation training resources, achieving reliable calculation and data storage of each simulator's subsystem.

Keywords: cloud computing; simulation; flight training; architecture; design

0 引言

云计算是当今众多计算机技术高度融合的产物, 具有突出特点和优势。西方军事强国正在加速推进云计算在军事领域的应用研究^[1]。在我军模拟飞行训练领域, 由不同部门、厂家研制生产的模拟飞行训练装备存在以下问题: 互联互通和互操作困难; 网络、计算、数据库、存储、软件应用等资源不能有效共享等, 制约了模拟训练建设发展。目前, 云计算在国内模拟训练领域应用尚属空白。笔者将云计算技术引入模拟飞行训练领域, 构建适合多军兵种共享的“飞行仿真云”, 进而形成新型模拟飞行训练体系架构, 不仅可有效解决这一问题、提高模拟训练信息化水平, 而且可加快模拟训练转型建设。

1 云计算概述

云计算的基本原理是依靠网络将大量服务器、计算机及应用整合成“云”(或称“云端”“资源池”), 经统一管理调度, 形成强大的数据处理、存储及共享能力, 为用户提供按需服务。各种应用需求分布

在“云端”不同服务器上, 用户只需一个终端, 即能获得“云”中各种 IT 资源及应用服务。云计算打破了传统计算模式的局限, 使计算资源可通过网络流通。用户可随时接入、获取“云”中资源, 获得各种应用服务, 而不需要自行购置价格不菲的软硬件, 免去了大量的日常维护工作, 降低了运营成本。云计算可提供基础设施即服务 (infrastructure as a service, IaaS)、平台即服务 (platform as a service, PaaS) 和软件即服务 (software as a service, SaaS) 3 种层次的服务及服务组合^[2], 这 3 层服务既独立又相互依赖, 框架如图 1 所示。

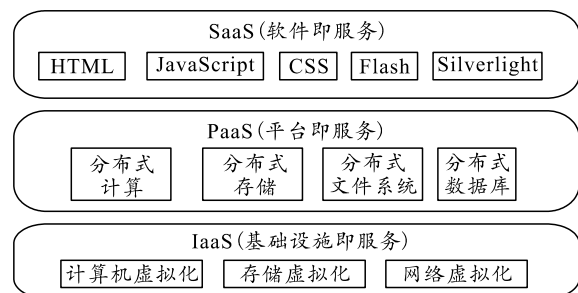


图 1 云计算框架

收稿日期: 2019-12-05; 修回日期: 2020-01-11

作者简介: 李京伟(1971—), 男, 北京人, 硕士, 高级工程师, 从事飞行仿真、作战仿真、装备管理研究。E-mail: 18910651090@189.cn。

2 基于云计算的模拟飞行训练体系架构

该体系架构是云计算技术在模拟飞行训练领域的运用，是先进的云计算与传统的飞行仿真技术的高度融合，依托超高性能网络，将各类服务器、应用整合为“飞行仿真云”，形成强大的数据存储和处理能力、动态资源扩展和配置能力，并将各类模拟

训练资源虚拟化，进行高效的智能化管理调度，最终实现基于云计算的(同)异地、多机种间的战术协同(对抗)等多种训练模式。也可认为，该体系架构是基于云计算、面向服务的分布式模拟训练网络。如图 2 所示，根据功能定位与使用需求，整个体系架构可划分为资源池层、云管理层和训练用户层 3 个层次^[3]。

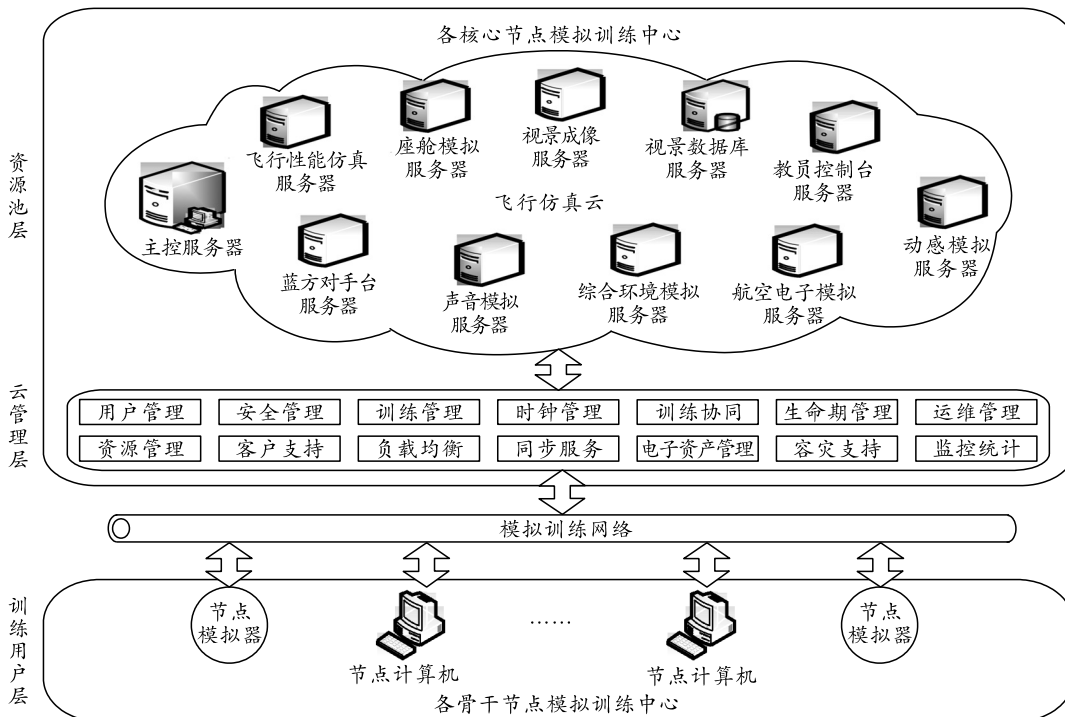


图 2 基于云计算的模拟飞行训练体系架构

根据国军标 GJB1395A—2009《飞机模拟器通用规范》^[4]，飞机模拟器主要包括飞行性能仿真、座舱模拟、视景、教员控制台、计算机和网络、动感模拟、航空电子模拟、综合环境模拟、声音模拟、辅助等若干分系统，其中视景分系统又包括视景数据库、视景成像子系统和视景显示子系统。随着模拟训练需求的不断拓展，作战飞机模拟器通常还包括蓝方对手台分系统。云计算设备规模大、性能强，采用云计算形成的模拟飞行训练体系，将模拟器中通用的计算、存储部分(如视景数据库、视景成像、飞行性能仿真、综合环境模拟等)分离出来，分别由一套高性能计算存储服务器完成，组成服务器集群，经虚拟化后形成资源池层，也称作“飞行仿真云”；云管理层是基于云计算的模拟飞行训练体系的核心业务层，负责对各模拟训练中心的训练需求进行调度分配，对任务生命周期内的用户、资源、安全等进行管理监控；训练用户层面向各模拟训练中心，实施各种模拟训练任务。资源池层与云管理层部署

于具备提供云服务及云管理能力的各核心节点模拟训练中心，训练用户层对应于具备独立组织模拟训练能力的各骨干节点模拟训练中心^[5]。

3 设计与实现

在整个体系架构中，飞行仿真云是底层基础，云计算是技术实现手段。在设计实现中，笔者应用了分布计算、分布存储、分布缓存、数据同步、空间一致等技术手段。

3.1 飞行仿真云

资源池层包括硬件资源和软件资源 2 部分。硬件资源由模拟器各主要分系统所需的高性能服务器集群组成。软件资源以各相关分系统的仿真应用软件、数据库为主，包括模拟器仿真软件、飞机模型、飞行参数、视景数据库、飞行人员管理数据库、综合环境数据、音视频数据等。高性能计算存储服务器采用标准化同构产品，按照高可用设计要求，分布式部署于各核心节点模拟训练中心，由主控服务

器统一管理。主控服务器用于接收云管理层的指令，进行服务管理，控制工作流的正常运转。资源池中计算资源和存储资源为分布式计算和分布式存储提供支持。当某一服务器发生故障，资源池可根据需要启动备份服务，保证模拟训练正常运转。

对软件资源的调度管理主要包括 2 个方面：1) 使用高性能服务器 (Server) 模拟一系列虚拟机 (virtual machine, VM)，每个虚拟机存放某一机型模拟器的飞行仿真软件及数据，各模拟训练中心将本地模拟器或仿真计算机 (Client) 接入高速模拟训练专用网络^[6]，访问飞行仿真云端内的服务器集群，获取其所需模拟器的最新仿真软件及数据，从而自行开展模拟飞行训练。2) 位于核心节点模拟训练中心的云端，保障人员仅需保障 Server 端正常运转，Client 端模拟器及仿真计算机不用高端配置，且无需为其配备专职保障人员。

3.2 分布计算

在该模拟飞行训练体系架构中，分布计算是系统的核心功能。如图 3 所示，计算任务由 1 台主控服务器和多台执行服务器完成。在系统设计中，执行服务器即为图 2 中飞行仿真云中的各分系统服务器 (飞行性能仿真服务器、座舱模拟服务器等)。主控服务器负责对各分系统执行服务器的资源进行管理，并对任务周期全过程实时监控，把计算任务与合并任务按实时择优算法分配给空闲或尚有计算能力的执行服务器运行，择优算法贯彻负载均衡原则。模拟飞行训练体系中的训练用户层以 Web Service 方式向主控服务器提出计算请求，主控服务器响应后建立连接，将计算任务分配给相应分系统执行服务器。各分系统执行服务器存放各相关模拟器分系统的仿真应用软件，在接到主控服务器指令后执行计算任务，将计算结果按主控服务器的要求通过高速模拟训练网络发送至计算请求端 (即各远程节点模拟器)。训练结束后，相应服务器存储数据，关闭通信，回收资源，结束并行计算^[7]。

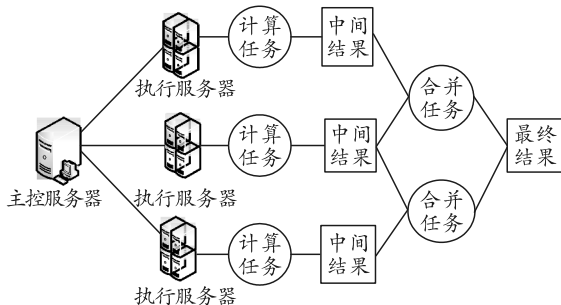


图 3 模拟飞行训练体系分布式计算

3.3 分布存储

如图 4 所示，在分布式模拟飞行训练体系架构的数据存储设计中，将视景数据库、视景成像、飞行性能仿真、动感模拟、综合环境等大容量仿真数据，采用分布式文件系统 (distributed file system, DFS) 进行存储。DFS 采用 C/S 结构，包括 1 个主控服务器 (元数据服务器)、多个数据服务器和客户端。系统实现中，将主控服务器与分布计算的主控服务器合并使用，共享硬件资源；数据服务器也与分布计算的执行服务器集成为各分系统服务器集群；客户端即为通过模拟训练网络访问数据的各节点模拟器。

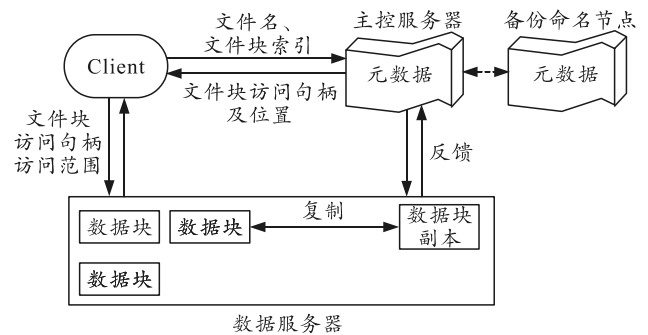


图 4 模拟飞行训练体系分布式存储

主控服务器是整个文件系统的中枢，对数据和文件块进行实时管理和请求处理，并提供模拟训练体系全部数据的路径信息。主控服务器记录有各分系统服务器中数据的位置及数据变化信息，可对数据服务器进行数据实时备份等功能性管理。

数据服务器存储模拟训练体系中各功能分系统的全部数据，根据主控服务器指令执行数据的各种操作。在设计实现中，为保证数据的可靠性、可用性与安全性，数据备份采取冗余备份技术，将每个文件在 3 台数据服务器上进行冗余存储，原文件放置于 1 台本地数据服务器上，另外 2 份副本放在不同集群的数据服务器上。

由于主控服务器是整个模拟训练体系的计算与存储核心，任何故障或不可靠将导致系统不可用甚至瘫痪；因此，笔者在设计中将主控服务器的所有日志文件和映像文件存储为本地文件，另设 1 台主控备份服务器定期备份主控服务器数据文件。一旦主控服务器失效，主控备份服务器立即接替工作，恢复文件系统路径，建立与各执行服务器、数据服务器的连接。

3.4 分布缓存

分布式模拟飞行训练体系建立后，计算数据海

量, 且对数据访问的时效性、数据计算的实时性要求极高, 单台服务器无法缓存所有重要数据; 因此, 在系统设计中支持多种数据结构的基于远程字典服务器 (remote dictionary server, Redis) 的分布缓存技术。由于该技术只支持单线程使用, 其性能受服务器 CPU 限制; 因此, 在设计中通过使用成熟度较高的水平拆分法解决并发访问量问题。此外, 与分布式存储类似, 分布缓存使用 1 台服务器进行管理控制, 多台缓存服务器同时缓存数据, 并使用冗余备份技术解决容灾问题, 这同时也提高系统的可用性。

3.5 数据同步

基于云计算的模拟飞行训练体系架构具有分布式交互式实时仿真系统的几个典型特征: 异构、分布、交互、实时。各组成部分通过“飞行仿真云”及云管理层, 把分散、异构、自成体系的各分系统连接起来, 构成一个虚拟的战场环境, 使参训人员能在虚拟战场环境中进行综合性技战术模拟训练。该体系架构对系统实时性要求较高。在飞行模拟器中, 同步误差通常不超过 30 ms, 一些高性能的分系统甚至要求达到 10 ms; 因此, 基于云计算的模拟飞行训练体系架构必须采用相应措施进行数据同步。在系统设计中, 可采用以下策略: 1) 对网络体系结构及服务进行优化, 降低通信数据在网络上的延迟; 2) 在云管理层中设置硬件时钟及时钟同步服务, 统一所有架构内模拟器的仿真时间; 3) 提高仿真步长精度, 减少通信数据的丢失; 4) 开发优化低延时的飞行仿真算法。

3.6 空间一致

模拟飞行训练体系出现空间一致性问题的原因主要有: 1) 各飞行模拟器采用不同的空间坐标系, 尽管理论上各坐标系可以转换, 但在转换计算过程中, 空间距离越远, 转换积累误差越大; 2) 各模拟器地景数据库场景范围不同; 3) 视景仿真驱动管理软件、视景数据库格式不同导致空间一致性存在较大问题。在仿真体系架构设计中, 解决该问题的策略是, 在飞行仿真云端架设视景数据库服务器, 从顶层设计即统一空间坐标系, 同时使用标准化的大地景数据库, 统一视景仿真软硬件平台。

4 优势分析

4.1 性价比高

在云计算训练模式下, 子节点由模拟器(或普通

电脑)担任, 所有的网络协同和应用服务工作由各服务器完成, 形成“瘦客户端、胖服务器”。飞机模拟器的高端服务器、高价值软件、飞行数据、仿真模型、综合环境数据等均存储于飞行仿真云, 可降低模拟训练的运行成本、显著提高其性价比。此外, 云管理层负责对其访问、解算和重构等核心操作, 可有效降低资源负荷, 提高峰值计算能力^[8]; 对存储数据进行合理管理, 可显著提高资源利用率。如图 5 所示, 在云计算模式下, 模拟飞行训练有更低的硬件和网络成本, 更低的管理成本, 更高的资源利用率, 其性价比远远超过传统模拟训练模式。

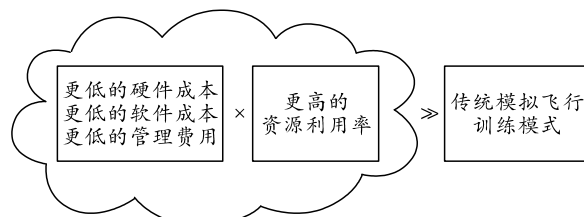


图 5 云计算的性价比优势

4.2 扩展性强

基于云计算的模拟飞行训练体系架构由核心节点服务器统筹模拟训练资源, 并与子节点模拟器协同; 部署于部队的模拟器作为子节点(客户端), 在模拟训练期间, 可任意加入到训练体系中, 训练结束后, 退出模拟训练网络即可。从理论上讲, 整个模拟训练体系几乎没有规模限制, 具有极强的可扩展性; 部署于部队的节点模拟器或仿真计算机只需满足网络接口规则即可接入训练, 扩展便捷; 对外交互由飞行仿真云的主控服务器负责, 便于与其他仿真系统互联, 可实现跨军、兵种联合模拟训练^[9]。

4.3 使用门槛低

传统模拟训练模式以硬件为主体, 训练人员必须在模拟器所在地实施。基于云计算的模拟飞行训练强调软件与数据资源作为模拟训练的载体, 云端服务器通过“一虚多”技术虚拟出多个装载应用程序的容器, 每个容器供一个客户端或本地计算机训练, 模拟器的角色仅作为普通的终端载体。部署于部队的各节点模拟器不必考虑模拟器核心软硬件升级问题, 同时也免去了大量维护保障工作, 维护及使用成本大大降低, 并可以做到快速部署, 显著降低了模拟器的使用门槛^[10]。

4.4 维护性好

在云计算模式下, 服务器既是内部网络的“大脑”, 又是与外部系统沟通的“纽带”, 服务器端功

能直接体现整个体系的功能。因此, 模拟器软件升级(如更新模拟器仿真模型与数据、升级数据库、增加功能模块等)时, 仅需对服务器端进行更新, 便可做到“一机更新, 全网升级”。此外, 模拟器硬件与数据软件隔离, 可改变原有维修保障模式, 极大降低部队技术保障的工作量^[11]。

4.5 可靠性高

模拟飞行训练要求数据具有高可靠性, 而云计算数据采用分布式存储和管理。如图6所示, 虚拟化技术将服务置于飞行仿真云中运行, 采用计算冗余、数据容错等措施, 有效保证了服务的可靠性。此外, 飞行仿真云需要同时满足相同机型或不同机型节点飞行模拟器的数据请求, 为节点模拟器并行提供海量数据服务; 因此, 要求模拟飞行训练体系具有高吞吐率, 用上述分布存储技术可较好实现。

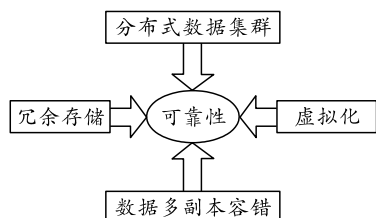


图6 云计算可靠性

4.6 安全性强

基于云计算的体系架构, 由于对包括计算及数据服务器在内的飞行仿真云进行集中管控, 可使用包括建立安全管理软件系统在内的多种安全手段, 更安全、精准地控制管理资源。此外, 还可对飞行仿真云进行安全风险评估, 将其划分为公有云和私有云, 建立严格的接入机制、可靠的数据校验监管机制、多层次安全域设置等安全应对策略, 都可有效提高云计算安全。

5 结束语

笔者将云计算技术应用于模拟飞行训练体系架

构设计, 建立了面向服务的体系架构, 提出了飞行仿真云概念。通过分布式计算框架、文件系统及分布缓存机制, 提高了模拟飞行训练资源利用率, 可实现异地模拟训练资源的高效共享和联网仿真, 将成为军队模拟训练信息化建设及模拟训练发展的重要方向。

参考文献:

- [1] BASTIAN K, FREDERIK K, KLAUS T. Challenges for Cloud-Based Simulation Games[C]. 2014 47th Hawaii International Conference on System Science, 2014: 1251-1257.
- [2] THOMAS E R L, ZAIGHAM M, RICARDO P. 云计算概念、技术与架构[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014: 52-60.
- [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] 飞机模拟器通用规范: GJB1395A-2009[S].
- [5] 黄安祥, 冯晓文, 李劲松, 等. 基于云计算平台的航空兵训练仿真体系结构[J]. 系统仿真学报, 2011, 23 Suppl.1(7): 106-109.
- [6] CHANGHYEON K, JUNSANG K, WON J L. Design of Simulator for Cloud Computing Infrastructure and Service[J]. International Journal of Smart Home, 2014, 8(6): 27-36.
- [7] Mohd Ahsan Kabir Rizvi. Simulation of Parallel and Distributed Computing: A Review[J]. IOSR Journal of Computer Engineering, 2016, 18(2): 5-11.
- [8] 刘伯峰, 刘帆, 朱伟锋, 等. 基于云计算的作战系统集成结构[J]. 中国舰船研究, 2013, 8(4): 92-96.
- [9] 王生玉, 王正, 蔡绪涛. 基于云模型的装备研制阶段技术风险评估模型[J]. 兵工自动化, 2019, 38(2): 72-77.
- [10] 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.
- [11] 罗海东, 高殿森, 李晓媛, 等. 云计算与物联网技术在高寒山地野营保障中的应用[J]. 四川兵工学报, 2014, 35(3): 80-83.