

doi: 10.7690/bgzd.2025.08.018

基于云边协同的模拟训练体系发展框架

杨 芸, 李雪青, 迟泓玮

(中国人民解放军 92289 部队, 北京 102488)

摘要: 为解决飞机模拟训练体系建设发展面临的难题, 满足新时期训练需求, 基于飞行模拟器大脑和云边协同技术, 提出一种飞机模拟训练体系发展框架。对框架建设涉及的关键技术和面临的难点进行分析, 提出相关发展建议。分析结果表明: 该发展框架能较好地解决模拟器组网训练难题, 并为新一代飞机模拟训练体系发展提供支撑。

关键词: 飞机模拟训练体系; 云边协同; 飞行模拟器大脑; 模拟训练

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Development Framework of Simulation Training System Based on Cloud Edge Collaboration

Yang Yun, Li Xueqing, Chi Hongwei

(No. 92289 Unit of PLA, Beijing 102488, China)

Abstract: In order to solve the problems faced by the construction and development of aircraft simulation training system and meet the training needs in the new era, a development framework of aircraft simulation training system is proposed based on the collaborative technology of flight simulator brain and cloud edge. The key technologies and difficulties involved in the framework construction are analyzed, and relevant development suggestions are put forward. The analysis results show that the development framework can better solve the problem of simulator network training, and provide support for the development of the new generation of aircraft simulation training system.

Keywords: aircraft simulation training system; cloud-edge collaboration; flight simulator brain; simulation training

0 引言

飞机模拟训练作为一种重要的飞行训练手段, 近年来, 重要性不断提升。以美军为例, 在将更多基础训练转移到飞机模拟器的基础上, 不断加快推进 LVC 训练体系建设^[1]。随着新时代实战化训练号角吹响, 应用需求已经改变, 飞机模拟训练需从早期的本地单机模拟训练, 向异地多机互联对抗训练加快转变, 这对飞机模拟训练装备建设发展提出了新的技术要求, 也面临着诸多实际困难^[2]: 1) 现有模拟器由不同厂家设计生产, 采用标准、联网协议等不一致, 使得模拟器间异构性高、互操作性低, 联网实现极为困难; 2) 软硬件耦合度高, 使得模拟器随实装升级难度大, 可扩展性低; 3) 模拟器地域分布十分广泛, 且部队往往分布在较为偏僻地区, 网络带宽受限严重, 使得模拟器异地组网互联十分困难。另外, 经过多年发展, 我军构建的三级模拟训练体制已相对成熟, 若对当前体制进行调整, 耗时耗力。如何在不改变现有训练体制的情况下, 通过新技术新方法解决诸多困难问题, 成为当前模拟

训练体系建设发展亟待解决的一个重要课题。

云边协同作为一种新型计算范式, 近年来, 引起了研究者的广泛关注和探索。在 2021 年提及物联网这一数字经济重点产业时, 提出要协同发展云服务与边缘计算服务。云边协同结合了云计算与边缘计算优点, 既具备传统云计算强大的资源服务能力, 又具有边缘计算低传输延时优势, 实现了边缘支撑云端应用, 云端助力边缘本地化需求的协同优化目标^[3]。目前, 云边协同技术已逐步开始应用于诸多领域, 比如工业生产、智能交通、安全监控、智慧医疗、城市大脑建设等, 为这些领域当前面临的难题提供了优化解决方案^[4-5]。以智能交通为例, 在强大的新一代通信基础设施上, 基于“云边协同”, 及其所延伸出的一系列协同概念, 比如“云-边-端协同”“云-网-边-端协同”等, 有效解决了时延、大量非结构数据处理利用、网络负载过大等问题, 极大提升了车路协同应用可靠性, 在自动驾驶升级、交通监管、路网调控等方面发挥了巨大作用, 同时极大改善了用户体验。相关研究和实际应用结果表明, 云边协同能较好解决地域分布广泛系统网络互

收稿日期: 2024-09-10; 修回日期: 2024-10-11

第一作者: 杨 芸(1991—), 男, 湖南人, 硕士。

service, IaaS)、平台层面的平台即服务(platform as a service, PaaS)和软件应用层面的软件即服务(software as a service, SaaS),协同技术主要包括资源协同、数据协同、智能协同、业务编排协同、应用管理协同以及服务协同 6 种。整体来看,目前,云边协同从理论框架到技术应用均取得了较大突破,其技术体系已日趋丰满,技术生态愈发健壮、繁荣,应用场景与日俱增,各方应用不断完善。伴随着国家和企业对数字化发展越来越重视,以及数字化浪潮的快速推进,云边协同赋能千百行业的时代已经到来^[8]。

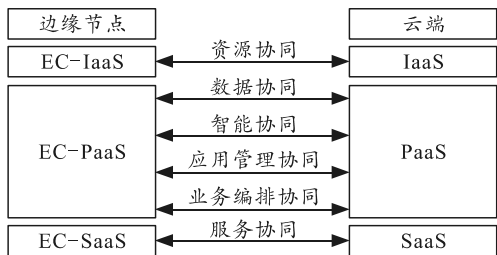


图 2 云边协同参考框架

2 发展框架构建

2.1 需求分析

发展框架的构建,主要基于 3 方面需求:训练需求、解决现有体系发展面临的难题、新技术新方法探索。

对于训练需求方面。近年来,我军实战化训练发展如火如荼,部队实战化训练需求大幅度提升,模拟训练也需向实战化聚焦,原有单机个人训练需向多机协同战术对抗训练发展;因此,需构建科学高效的模拟器联网体系,能适应实战化对抗训练需求,使得模拟器具备快速组网、快速随装升级改造、按需接入、即插即用等能力。

在新发展框架设计时,重点需要解决现有体系

建设发展面临的 3 方面难题。

1) 适应现有模拟训练体系架构,尽可能以新技术来弥补当前建设发展的困境。经过多年发展,我军已建成三级模拟训练体系架构。在模拟训练室这一级,由于地域分布广泛,各地网络带宽差异十分明显,在体系架构建设时,需包容差异化的网络带宽,满足实时性要求。

2) 模拟器应用终端类别较多,功能需求不一,且现有模拟器终端异构性高、互操作性低。根据国军标 GJB 2099A—2009《飞机模拟训练装备分级》,飞机模拟器分为 3 个级别:专项型模拟器、基本型模拟器、多功能型模拟器;战术模拟系统分为 2 个级别:分队战术模拟训练系统、航空兵合同战术模拟训练系统。经过多年发展,各机型飞机模拟器建设较为齐全,数量较多,且由于设计生产厂家不一,模拟器异构程度较高。近年来,战术模拟系统也逐步开展建设,同时,训练、指挥等机构也需同步接入。因而,终端种类较多,且需求不一。

3) 保密与安全问题。尽可能减少数据远距离传输,避免数据外泄风险。

对于新技术新方法的探索,是优化模拟训练体系建设发展框架,提升飞机模拟训练效能的关键。诸多实际应用证明,云边协同技术能较好支撑多异构终端超大系统组网建设;因此,将这一新技术应用于新发展框架构建,能为模拟训练体系建设发展提供新的基础理论支撑。

2.2 发展框架

基于当前需求,参照飞行模拟器大脑和云边协同技术理论框架,构建了基于云边协同的飞机模拟训练体系发展框架(下文简称发展框架),如图 3 所示。

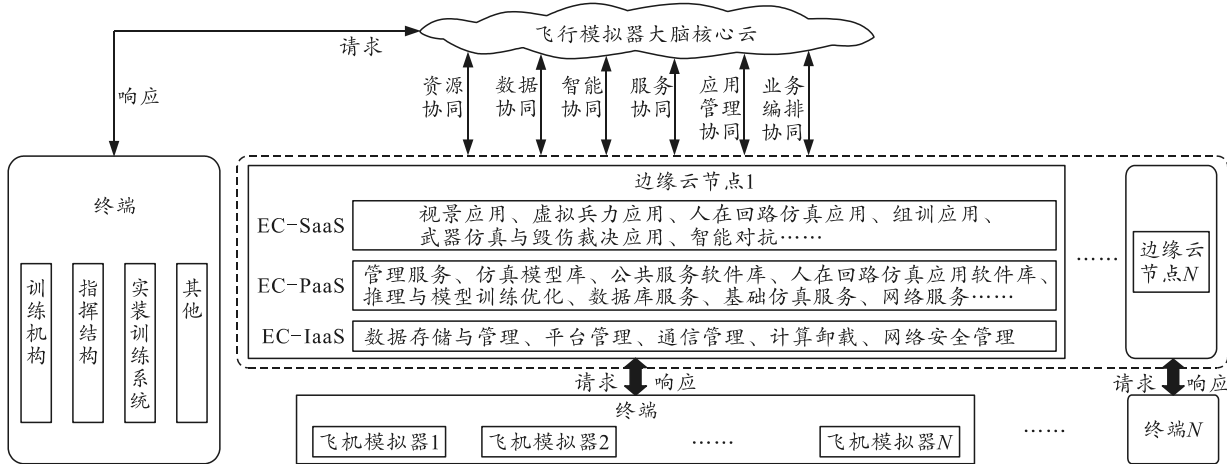


图 3 发展框架

发展框架将软件与硬件解耦,通过云边协同技术,以“公共服务+终端应用”的方式进行体系布局,以软件为核心,实现软件定义模拟器。框架主要分为 3 个层级。

1) 以飞行模拟器大脑核心云为主的核心云服务层。它是整个框架的核心部分,提供包括数据处理与分析、模型训练、通用计算、战术组网等在内的诸多公共服务。它既为边缘节点提供服务,又为部分终端节点提供服务。通过核心云实现模拟器异地组网和其他训练系统的接入。

2) 以边缘云节点为主的边缘云服务,是整个框架的骨干。在 EC-IaaS 层,主要提供数据存储与管理、平台管理、通信管理、计算卸载、网络安全管理等服务。在 EC-PaaS 层,主要提供管理服务、仿真模型库、公共服务软件库等服务。在 EC-SaaS 层,主要提供视景应用、虚拟兵力应用、组训应用、智能对抗等服务。它与飞行模拟器核心云协同,为终端提供服务,布置在模拟训练室这一层,即终端本地,以解决地域分布广泛而引发的网络带宽不一致问题,满足终端运行实时性要求。另外,通过中间件或其他相关技术,也可在边缘端解决模拟器异构程度高这一问题,实现模拟器本地联网。

3) 终端应用接入,通过云边协同满足多样化的终端接入需求,比如模拟器、指挥人员、实装飞机等。

发展框架通过布置本地边缘云节点,将大量计算在本地进行,能较好解决因地域分布广泛而引发的网络带宽不一致问题,满足模拟器组网训练实时性要求;同时,在进行异地组网训练时,能极大减少数据传输距离,降低数据外泄风险。另外,通过中间件将公共服务布置在云端等方式,能满足终端应用种类较多、功能需求不一这一需求,解决终端异构程度高、互操作性低等问题。

2.3 优势与可行性分析

发展框架的提出,一方面可以解决当前模拟训练体系发展面临的诸多问题,为模拟训练体系建设发展指明了方向;另一方面,以软件为核心,极大降低模拟器软硬件耦合程度,有助于实现飞机模拟器快速随实装升级、按需接入、即插即用等。另外,核心云和边缘云建设,在提供公共服务的同时,有助于规范模拟器建设标准、统一网络协议,为本地、异地组网对抗模拟训练开展提供有力支撑。

对于框架实现可行性,主要包括 2 方面。

1) 理论和技术发展已经成熟,可以支撑发展框架建设。当前,华为、百度等科技公司,均发布了较为成熟的云边协同计算平台。同时,一大批实际应用也已经落地,成效显著^[8]。

2) 经过多年发展,军事网络基础设施建设、5G、物联网等技术发展已较为成熟,可为框架网络建设提供技术支撑。

3 关键技术分析

发展框架的工程实现相对较为复杂,既包括边缘云节点基础设施建设,又包括云端与边缘端协同平台设计,还包括网络安全与保密要求。这里,主要对以下 3 方面关键技术进行分析:“边缘-终端”组网技术、“核心云-边缘云”资源协同技术、网络保密与安全技术。

3.1 “边缘-终端”组网技术

当前,由于作为主要终端的模拟器异构程度较高,使得组网模拟训练实现较为困难,无法满足分队战术模拟训练和合同战术模拟训练需求;因此,要构建如图 3 所示发展框架,必须发展“边缘-终端”组网技术,以满足 2 方面需求。首先,通过边缘云服务,实现不同终端之间的本地组网训练,满足分队战术模拟训练需求;其次,通过边缘云与核心云之间协同,为终端提供异地组网服务,满足合同战术模拟训练需求。具体技术主要包括:1) 边缘云软硬件设计;2) 边缘云与终端之间组网平台开发。

对于边缘云软硬件设计,目前已有诸多成功应用可作为参照。KubeEdge^[12]是华为 2019 年推出的开源边缘计算平台,基于 Kubernetes 构建,具有诸多优点,比如云边可靠协同、边缘离线自治、边缘极致轻量化、k8s 原生支持等。其他的还有:由 Intel 主导开发的 OpenNESS、由百度开发的 Baetyl 等平台。对于边缘云与终端之间组网平台,关键在于组网协议开发。目前,已有一些应用,主要是基于 3 种形式来实现,分别是:数据分发服务(data distribution service, DDS)协议、高层体系结构(high level architecture, HLA)协议和用户数据报协议(user datagram protocol, UDP)协议。但这些应用都存在一些问题,难以流畅满足边缘云与终端间的组网需求;因此,需进一步进行相关开发研究。

3.2 “核心云-边缘云”资源协同技术

资源协同是实现核心云与边缘云协同的关键技

术,是实现异地合同战术模拟训练的基础。与工业互联网、智能交通、智慧城市这些应用场景不同,在模拟训练中,由于终端主要为驾驶模拟器在真实世界中开展训练,故对数据传输的实时性要求非常高;因此,在计算卸载或任务卸载规划时,需要对数据请求响应模块进行细致设计,以合理规划数据计算任务,确保满足实时性需求,同时加强计算资源的利用,减少资源闲置浪费。

在计算卸载方面,目前已有诸多研究,可为新一代模拟训练体系计算任务卸载的设计提供参照。尚玉叶等^[13]针对深空环境复杂且未知,星上计算资源有限,提出了一种面向深空探测任务的数字孪生云边端协同框架,通过云边端协同的任务卸载,为深空探测自主技术提供更加高效的资源服务。Zhang 等^[14]为降低移动设备总时延,基于 Lyapunov 优化框架,设计一种计算卸载和数据缓存联合模型。

3.3 网络保密与安全技术

近年来,关于安全性的探索,已成为云计算与边缘计算的重要研究方向。对于军事应用来说,保密与安全是重中之重。虽然,在开展飞机模拟训练时,使用的网络是专用军事网络,保密和安全程度很高,但在远距离传输过程中,仍存在失泄密风险。因此,发展框架建设前,要加强保密与安全技术的研发,确保数据传输安全。

在民用领域已有相关的一些探索。Bousselham 等^[15]针对车辆平台安全,提出了一种新的安全机制。它基于用户行为分析和一种雾计算系统中的新进攻性诱饵技术,提升数据安全,减少隐私泄露风险。张晓东等^[16]针对隐私保护,提出了一种云边端协同隐私保护框架,主要由3部分构成:安全的形式化验证、攻击机理分析和策略防御构建。

4 建设困难与对策建议

4.1 困难分析

4.1.1 现有管理体制较为混乱,难以形成合力

多年来,由于在高层缺少强有力的管总和总体牵头建设单位,使得模拟器领域建设乱象纷呈。一方面,体系顶层设计不足,各自为战现象严重;另一方面,缺少统一的建设标准,导致各生产厂家生产制造的模拟器异构性高、互操作性低,难以开展组网对抗训练,使得模拟训练水平进一步提升较为

困难。

4.1.2 重视程度不够,缺乏理论和技术积累

近年来,以人工智能、云计算、大数据、物联网等为代表的先进技术,广泛应用于各领域,促进了各领域技术的发展。另外,实装飞机也已多次升级,战力大幅度提升。但对于模拟器而言,由于重视程度不够,并未能吸收当前民用领域相关先进理念与技术,发展仍处于较低水平,在理论和技术方面积累均不足。一方面,相关支撑基础设施建设不完善,联网网络协议、相关应用等开发均不足;另一方面,经过多年发展,目前各机种单机训练模拟器已基本实现全覆盖,但对于联网分队战术训练、合同战术训练系统的建设仍不完善,理论和技术积累不够。这2方面问题,使得发展框架建设在理论和技术上均面临极大地挑战。

4.1.3 网络资源分配不足

当前,虽然全军军用网络基础设施建设已较为完善,但分配给模拟训练的网络通道仍不足,无法支撑异地组网对抗模拟训练的开展。网络基础资源是发展框架建设的基础,虽然对于网络带宽需求已大幅度减少,但仍需要配置一定的网络资源,以支持信息通信和基本数据传输。

4.2 对策建议

4.2.1 完善模拟训练管理体制,建立统一管理机构

关于模拟训练管理体制建设,可以向美军学习。在1990年前,美军建模与仿真领域也是分散和缺乏协调;为此,美国国会指示国防部,建立一个国防部长办公室级别的联合仿真计划办公室,用于协调仿真政策,建立互操作性标准和协议,并促进军事仿真发展,为仿真、作战演习和训练协同提供指导方针和目标。经过多年发展,从美国国防部、美军参谋长联席会议到陆、海、空、天诸军兵种均建立了建模与仿真的组织机构,如:国防部建模与仿真办公室(DMSO)、陆军建模与仿真办公室(AMSO)、海军建模与仿真管理办公室(NAVMSMO)、空军建模与仿真局(AFAWS)等,极大地促进了美军军事仿真技术的发展。近年来,美军飞机模拟训练已由最初的单机训练,发展到集模拟器、实装与构造环境为一体的真实虚拟集成训练,在减少训练经费的同时,极大地提升了美军实战化训练水平。为顺利开展发展框架建设,需对当前模拟训练管理体制进行完善,在各级建立统一管理机构。

4.2.2 借鉴和吸收民用领域先进经验, 建强相关理论和技术基础

近年来, 以人工智能、大数据、云计算、数字孪生、扩展现实等为代表的各种先进技术不断取得突破, 使得工业生产、人类出行等发生了翻天覆地的变化。最近, ChatGPT 的发布, 再一次震惊了世界。当前, 新技术发展日新月异, 而模拟器建设与民用领域技术交叉较大; 因此, 在发展框架建设时, 要充分借鉴和吸收新技术新成果, 尤其是民用领域先进经验, 促进军民发展, 建强相关理论和技术基础。一方面, 在边缘云、核心云基础设施建设和平台开发中, 可以借鉴华为云、百度云、腾讯云等先进建设经验, 参考其建设框架和相关软件平台, 比如 KubeEdge、Baetyl 等; 另一方面, 在应用开发、场景设计时, 可以借鉴当前游戏领域的建设经验, 开发集实战性和趣味性于一体的应用。

4.2.3 加快网络基础设施建设, 分配专用网络信道

网络是基础, 只有健全网络基础设施, 发展框架才能顺畅运行。当前, 虽然对于终端模拟器的建设已较为成熟, 但对于边缘云网络的建设仍较为缓慢; 因此, 要加快边缘云网络软硬件系统的设计和开发。对于网络通信, 目前, 大部分单位已建成成熟的电视电话会议系统, 并分配了专用网络信道, 且 5G 通信技术也已较为成熟。可以探索基于电视电话会议系统、5G 通信技术等, 构建网络通信线路, 以实现发展框架的通信管理模块。

5 结束语

近年来, 实战对抗训练需求越来越大, 亟需加强战术模拟系统建设。发展框架的提出, 能较好解决当前模拟训练体系发展中面临的诸多问题。基于云边协同技术, 以软件发展为核心, 通过软件定义模拟器将软硬件解耦, 最终实现模拟器随实装快速升级、按需接入、即插即用等功能。当前, 新技术发展日新月异, 作为与民用技术交叉较大地领域, 模拟训练体系建设要充分吸收民用领域先进理念与技术, 加快对抗模拟训练条件建设, 以更好更快满

足实战对抗训练需求。

参考文献:

- [1] 杨芸, 胡建军, 李京伟. LVC 训练体系建设发展现状及关键技术[J]. 兵工自动化, 2023, 42(1): 4-15.
- [2] 张兵强, 方伟, 王萌. 飞行模拟器异地联网训练中的同步仿真方法研究[J]. 计算机应用与软件, 2022, 39(9): 113-120.
- [3] 陈玉平, 刘波, 林伟伟, 等. 云边协同综述[J]. 计算机科学, 2021, 48(3): 259-268.
- [4] 徐恩庆, 董恩然. 探析云边协同的九大应用场景[J]. 通信界, 2019(21): 42-43.
- [5] 华先胜, 黄建强, 沈旭, 等. 城市大脑: 云边协同城市视觉计算[J]. 人工智能, 2019(5): 77-91.
- [6] 刘睿健. 云边协同构建交通“大脑”与“神经末梢”交通云平台与边缘计算初探[J]. 中国交通信息化, 2021(6): 18-31.
- [7] 王丽杰, 张喜平, 冯强, 等. 基于云边协同的新能源监控与大数据平台构建[J]. 分布式能源, 2021, 6(1): 44-50, 55.
- [8] 中国信息通信研究院. 云边协同关键技术态势研究报告[R]. 2021.
- [9] 杨芸, 李京伟, 李雪青, 等. 基于人工智能的飞行模拟器大脑模型构建[J]. 兵工自动化, 2021, 40(3): 19-25.
- [10] 中国信息通信研究院. 云计算发展研究[J]. 大数据时代, 2020(8): 28-39.
- [11] 施巍松, 张星洲, 王一帆, 等. 边缘计算: 现状与展望[J]. 计算机研究与发展, 2019, 56(1): 69-89.
- [12] 黄倩, 黄蓉, 王友祥, 等. 开源边缘计算平台研究分析[J]. 邮电设计技术, 2021(10): 88-92.
- [13] 尚玉叶, 袁家斌. 深空环境中基于云边端协同的任务卸载方法[J]. 计算机科学, 2023, 50(2): 80-88.
- [14] ZHANG N, GUO S, DONG Y, et al. Joint task offloading and data caching in mobile edge computing networks[J]. Computer Networks, 2020, 182(2): 107446.
- [15] BOUSSELHAM M, BENAMAR N, ADDAIM A. A new Security Mechanism for Vehicular Cloud Computing Using Fog Computing System[C]//2019 International Conference on Wireless Technologies, Embedded and Intelligent Systems (WITS). IEEE, 2019: 1-4.
- [16] 张晓东, 吕从东. 云边端协同安全隐私保护框架研究[J]. 南京大学学报(自然科学)2022, 58(3): 413-419.