

# 军事仿真训练中网络通信延迟监测与优化方法

王攀祥

江南机电设计研究所 贵州 贵阳 550009

**【摘要】**：军事仿真训练对网络通信实时性要求极高，通信延迟直接影响训练真实性与有效性。本文分析军事仿真训练网络通信延迟核心成因，涵盖系统架构瓶颈、数据交互同步损耗、网络传输与设备负载过高三类。关键监测技术包括端到端实时监测、仿真节点时延采集和多维度网络性能监测；优化方法则涵盖负载均衡调度、数据分布式存储传输，以及仿真引擎虚拟化与资源动态调度。相关研究表明，这些方法能有效降低通信延迟、提升系统稳定性，为大规模、长时程军事仿真训练的通信保障提供理论支撑与实践参考。

**【关键词】**：军事仿真训练；网络通信延迟；时延监测；负载均衡；分布式存储

DOI:10.12417/3041-0630.26.07.036

## 引言

随着军事训练向实战化、规模化与协同化转型，军事仿真训练已成为提升部队战斗力的核心手段，依赖高速稳定的网络通信实现多节点、多军兵种实时交互。大规模仿真实体接入、海量战场数据传输及复杂战术协同需求，使网络通信延迟问题日益突出，指令响应滞后、态势更新卡顿等现象频发，直接影响训练效果。因此，系统分析通信延迟成因，探索科学监测技术与优化方法，破解军事仿真训练通信瓶颈，保障训练实时性与稳定性，对推动军事仿真训练高质量发展、提升部队实战能力具备重要现实意义与应用价值。

## 1 军事仿真训练网络通信延迟成因分析

### 1.1 系统架构导致的通信瓶颈

传统军事仿真训练系统多采用主从式 C/S 架构，单服务器模式下所有仿真计算、数据存储与业务逻辑集中于一台物理服务器，用户并发请求汇聚该节点形成单点通信瓶颈，高并发场景下请求排队阻塞引发通信延迟，服务器故障还会导致全系统通信中断<sup>[1]</sup>。多服务器模式通过 LVC 互联机制实现集群部署，各仿真引擎服务器独立管控数据与业务，跨服务器训练交互需经网关转发与协议转换，额外增加通信链路长度与处理耗时。在 HLA 网关模式下，千级仿真实体场景中服务器间数据同步开销呈指数级增长，加剧通信阻塞与延迟。计算服务扩展模式仅将复杂计算任务剥离至专用服务器，未改变集中式通信调度逻辑，核心通信瓶颈仍存在于仿真引擎服务器集群，无法从架构层面根本解决大规模训练带来的通信延迟问题。

### 1.2 数据交互与同步引发的延迟

军事仿真训练中，战场态势、武器装备状态、战术指令等数据需在多节点间实时交互同步。传统架构下各仿真引擎服务器独立维护本地数据副本，多军兵种协同训练时，不同服务器下属终端交互会触发全量数据同步，导致海量态势数据、模型

参与与交互脚本重复传输，占用大量网络带宽，引发数据拥塞与传输延迟。同时，数据存储与仿真引擎耦合部署，数据读写与仿真计算争抢服务器 I/O 资源，数据访问延迟直接传导至通信链路，造成终端指令响应滞后。某部队联合作战仿真训练中，多服务器模式下跨节点数据同步耗时占总通信延迟 60% 以上，高并发交互时还会出现数据同步超时与态势更新卡顿，影响训练实时性。

### 1.3 网络传输与设备负载造成的时延

网络传输层面，军事仿真训练多采用局域网组网，物理传输介质信号衰减、交换机存储转发机制与路由查表操作，产生固定传输时延，大规模终端接入时网络端口排队阻塞加剧时延波动。设备负载上，仿真引擎服务器需同时处理仿真实体计算、数据调度与通信转发，高负载下 CPU、内存与网络接口资源耗尽，报文处理与转发效率大幅下降（见图 1）。

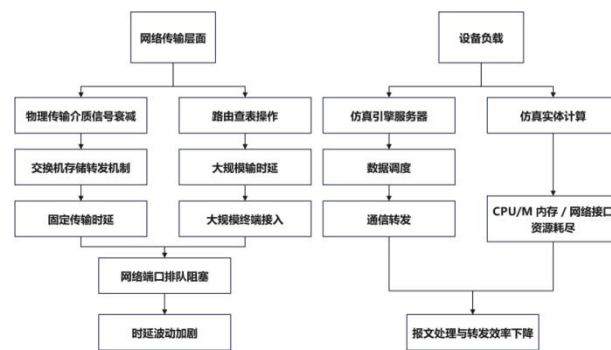


图 1 网络传输与设备负载造成的时延

## 2 军事仿真训练网络通信延迟监测技术

### 2.1 端到端通信延迟实时监测

端到端通信延迟实时监测以用户终端至仿真服务节点的完整通信链路为对象，采用高精度时间戳同步技术，在终端请

求发送与服务端响应接收节点嵌入时间戳标记,通过计算报文往返时间差获取端到端总延迟,并区分传输延迟、处理延迟与排队延迟分量。监测模块依托 1588v2 精密时间协议实现跨节点时钟同步,同步精度达微秒级,可实时捕捉毫秒级延迟波动。

## 2.2 仿真节点数据传输时延采集

仿真节点数据传输时延采集聚焦仿真引擎服务器、数据共享服务器等核心节点的内部传输与交互延迟,节点内部部署轻量级监测 Agent,实时采集报文入队、出队、处理与转发各环节耗时,定位节点内传输瓶颈<sup>[2]</sup>。Agent 通过消息队列与集群管理平台联动,周期性上报节点 CPU 利用率、内存占用、网络 I/O 等状态数据,关联分析节点负载与传输时延的耦合关系。

## 2.3 多维度网络性能指标监测

多维度网络性能指标监测构建覆盖通信延迟、带宽利用率、丢包率、抖动率、节点负载的全要素监测体系,通过 Telemetry 协议实时采集网络设备与服务器性能数据,依托时延地图技术将数据映射至网络拓扑,可视化呈现各链路延迟分布。监测系统区分训练业务优先级,重点监控战术指令、态势同步等关键业务延迟指标,同时同步采集服务器虚拟化层资源调度延迟、数据存储层访问延迟等底层数据,形成“通信-计算-存储”一体化监测视图。基于 Link16 数据链的联合作战仿真中,该技术实现 8-512 个作战平台场景下网络性能全维度监测,清晰反映平台数量增长对通信延迟的影响规律,为网络资源配置提供量化依据。

# 3 军事仿真训练网络通信延迟优化方法

## 3.1 基于负载均衡的访问调度优化

基于负载均衡的访问调度优化增设访问控制服务器,构建统一访问入口与动态调度机制,将终端仿真请求按服务器实时负载分流至空闲节点,避免单节点负载过高引发通信阻塞。访问控制服务器内嵌状态监控模块,通过 Agent 实时采集各仿真引擎服务器 CPU、内存、连接数等指标,依托加权轮询、最小连接数算法完成请求分配,实现服务器集群负载均衡。某部队仿真训练实践中,该优化使系统支持在线用户提升,连续运行时长从 1 小时延长至 10 小时,端到端平均通信延迟降低,单

节点故障时可快速切换流量,保障训练通信不中断。

## 3.2 数据分布式存储与传输优化

数据分布式存储与传输优化将数据模型存储职能从仿真引擎剥离,搭建虚拟存储集群构建统一数据资源池,采用多副本分散存储与切片管理技术,实现仿真数据集中管控、分布式访问,消除跨服务器数据同步开销<sup>[3]</sup>。系统通过数据访问接口为仿真引擎提供统一数据服务,减少冗余数据传输,结合消息队列实现异步数据传输,规避同步等待引发的延迟。某多兵种协同仿真训练中,该优化将传统共享存储升级为分布式虚拟存储,数据抗毁容错能力显著提升,跨兵种数据交互从全量同步转为增量更新,数据传输延迟降低,实现态势数据无缝切换与实时共享。

## 3.3 仿真引擎虚拟化与资源动态调度优化

仿真引擎虚拟化与资源动态调度优化依托服务器虚拟化技术,将物理计算资源整合为资源池,将仿真引擎封装为虚拟机镜像,根据训练规模动态创建、迁移、注销虚拟机,实现资源按需分配与弹性伸缩。虚拟机管理调度软件实时监测终端访问量、网络负载与业务响应速度,自动调整虚拟机数量与资源配置,高峰期扩容虚拟机提升并发处理能力,低峰期缩容释放资源,减少资源闲置与通信开销。某部队实战化仿真训练中,该优化使系统支持 1000 人同时在线、连续两周稳定运行,仿真引擎通信延迟控制在毫秒级,资源利用率提升 50%以上,适配大规模、长时程军事仿真训练的通信实时性需求。

# 4 结语

军事仿真训练网络通信延迟是制约训练实战化水平的关键因素,成因涉及系统架构、数据交互、网络传输等多个层面,兼具复杂性与关联性。分析延迟成因,梳理针对性监测技术,提出切实可行的优化方案,可有效解决大规模仿真训练中的通信阻塞、延迟超标等问题。未来,军事仿真技术与网络通信技术深度融合,需结合人工智能、边缘计算等新技术,持续优化监测精度与优化效果,完善“成因-监测-优化”闭环体系,为军事仿真训练提供更为可靠的通信保障,助力部队实战能力持续提升。

## 参考文献:

- [1] 但英浩,蒋攀攀,张阳,等.5G 通信技术在军事靶场中的应用研究[J].中国军转民,2025,(23):17-18.
- [2] 李勇慧,吴雨悦,邓凤贤,等.网络战环境下的通信网络结构及负载配置研究[J].计算机工程与科学,2025,47(12):2150-2159.
- [3] 李雪松.通信工程信息化管理在军事活动中的应用研究[J].中国军转民,2025,(14):95-96.