

基于混合云架构的电商平台系统设计与优化

张 龙

浙江云贸科技有限公司 浙江杭州

【摘要】电子商务平台在数字化转型中面临资源弹性扩展与成本控制的双重挑战，混合云架构为解决该矛盾提供了创新路径。本文针对电商业务场景的流量波动特性与数据密集型特征，构建分层式混合云系统模型，融合私有云数据安全优势与公有云弹性资源池。重点突破资源动态调度算法与多维度负载均衡机制，设计基于流量预测的自适应资源分配策略，建立跨云平台的数据分片与缓存协同方案。通过模块化架构设计与算法优化，实现计算资源按需调度与数据访问效率提升，为智能弹性伸缩系统开发提供理论支撑。

【关键词】混合云架构；电商平台；系统设计；优化研究

【收稿日期】2025 年 3 月 15 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 16 日

【DOI】10.12208/j.aics.20250003

Design and optimization of e-commerce platform system based on hybrid cloud architecture

Long Zhang

Zhejiang Yunmao Technology Co., LTD., Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】 The e-commerce platform faces the dual challenges of resource elastic expansion and cost control in the digital transformation, and the hybrid cloud architecture provides an innovative path to solve this contradiction. Based on the traffic fluctuation characteristics and data-intensive characteristics of e-commerce business scenarios, this paper builds a hierarchical hybrid cloud system model, and integrates the data security advantages of private cloud with the elastic resource pool of public cloud. Focus on breaking through the resource dynamic scheduling algorithm and the multi-dimensional load balancing mechanism, designing an adaptive resource allocation strategy based on traffic prediction, and establishing a cross-cloud platform data fragmentation and cache collaboration scheme. Through modular architecture design and algorithm optimization, computing resources on-demand scheduling and data access efficiency are improved, providing theoretical support for the development of intelligent elastic scaling system.

【Keywords】 Hybrid cloud architecture; E-commerce platform; System design; Optimization research

1 引言

数字经济的纵深发展推动电子商务平台进入微服务化与云原生阶段，传统单一云架构在应对促销峰值流量时暴露出资源利用率低、响应延迟显著等问题。混合云技术通过整合私有云与公有云异构资源，为动态负载场景提供灵活算力支撑，其技术价值在电商领域尚未得到充分挖掘。现有研究多聚焦于基础架构设计，缺乏对业务特性与算法优化的深度适配，导致资源调度滞后性与数据孤岛现象并存。本研究立足于电商平台实时交易与库存管理的核心需求，构建多层混合云服务体系，创新研发智能资源调度引擎与跨云数据路由机制，旨在破解弹性扩展与成本效益的平衡难题，

作者简介：张龙（1982-）男，汉族，本科，浙江省温岭市人，研究方向架构设计，产品生命周期管理。

探索混合云架构在复杂商业场景中的工程化实践路径。

2 相关理论与技术基础

2.1 混合云架构核心组件

混合云架构核心组件依托公有云与私有云的异构资源协同机制，通过跨云管理平台实现计算资源的统一纳管与弹性伸缩。公有云侧重点承载突发流量计算任务，私有云节点保障核心业务数据主权，两者基于安全组策略与加密隧道构建基于 VPC 的跨云网络隔离，确保跨云通信满足企业级数据合规要求，混合云架构如图 1 所示。

微服务架构采用 Spring Cloud Alibaba 技术栈构建服务网格，借助 Nacos 实现多集群服务注册发现，结

合 Istio 控制面增强跨云服务调用的流量控制与熔断策略, 支撑商品检索与支付结算等模块的高可用部署^[1]。API 网关集成动态路由引擎, 依据请求来源、设备类型及业务优先级实施智能分发, 支持 HTTP/2 与 gRPC 协议转换, 结合加权轮询算法优化边缘节点访问效率, 为促销活动的瞬时高并发请求提供多级缓存与灰度发布能力。

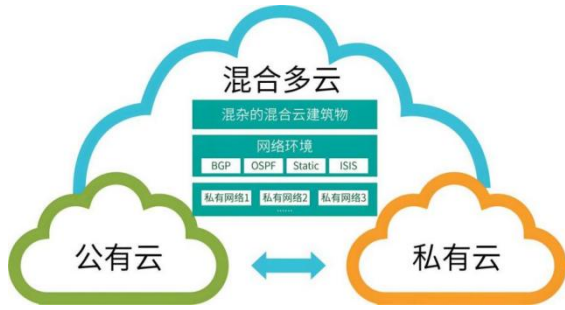


图1 混合云架构

2.2 关键算法与技术

2.2.1 资源调度算法

深度强化学习(DRL)模型在资源调度领域通过 Q-Learning 框架实现动态环境下的实时决策优化, 其核心机制基于状态空间建模、动作空间枚举与奖励函数设计。状态空间定义为多维向量, 表征系统实时负载、任务优先级与资源可用性, 典型参数包括节点计算资源利用率、任务队列等待时间与网络带宽占用率。动作空间映射为离散或连续的资源分配策略, 例如虚拟机实例扩容、任务迁移路径选择或能耗约束调整。奖励函数设计需权衡即时收益与长期稳定性, 采用加权函数融合资源利用率提升、任务延迟降低与能耗成本削减指标。Q-Learning 的更新规则通过时序差分学习逼近最优策略, 公式表达如(1):

$$Q(s, a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha \left[r + \gamma \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a) \right] \quad (1)$$

其中, $Q(s, a)$ 表示状态 s 下执行动作 a 的预期累积奖励, α 为学习率, γ 为折扣因子, r 为即时奖励, s' 为转移至的新状态。为应对高维状态空间, 深度 Q 网络(DQN)引入神经网络近似 Q 值函数, 如公式(2):

$$Q_{\theta}(s, a) \approx E \left[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t r_t \mid s_0 = s, a_0 = a \right] \quad (2)$$

式中 θ 为神经网络权重参数, 通过经验回放与目标网络冻结技术提升训练稳定性。

2.2.2 负载均衡算法

自适应加权最小连接(AWLC)算法通过动态调整节点权重与实时负载反馈机制优化分布式系统资源分配效率, 其核心机制包括状态监测、权重更新与任务调度策略。状态监测模块周期性采集节点实时负载指标, 涵盖 CPU 利用率、内存占用率、网络吞吐量及当前活跃连接数, 权重调整策略定义为节点处理能力与负载状态的函数映射。任务分配策略基于加权最小连接数原则, 优先将新请求分发至权重与连接数比值最高的节点, 抑制过载节点任务堆积风险。权重计算模型融合历史负载趋势与瞬时波动特征, 公式表达如(3):

$$W_i = \frac{\alpha \cdot P_i}{C_i + \beta \cdot L_i} \quad (3)$$

式中, W_i 为节点 i 的动态权重, P_i 表示节点基准处理能力(如 CPU 核数或内存容量), C_i 为当前连接数, L_i 为归一化实时负载指标(如 CPU 利用率与内存占用的加权和), α 与 β 为平滑因子, 用于平衡处理能力与负载波动对权重的影响。算法通过滑动窗口均值滤波抑制负载瞬时噪声, 结合反馈控制理论动态修正平滑因子以适配系统稳态与瞬态响应需求^[2]。

2.2.3 数据分片算法

一致性哈希环优化通过虚拟节点动态分配机制缓解分布式存储系统中数据倾斜与迁移开销问题, 其核心思想在于将物理节点映射至哈希环并引入虚拟节点副本增强负载均衡性。

哈希函数采用双射策略, 确保数据键与节点标识均匀分布于环空间, 典型实现选用 SHA-256 加密哈希函数避免碰撞风险。虚拟节点数依据节点负载容量动态调整, 高负载节点分配更多虚拟节点以分散请求压力, 节点扩容或缩容时仅需重新映射相邻虚拟节点数据, 显著降低全局数据迁移量。动态虚拟节点数计算模型基于节点处理能力与实时负载因子构建, 公式表达如下(4):

$$V_i = \left\lceil \frac{C_i}{\sum_{j=1}^N C_j} \cdot K \cdot \log(1 + L_i) \right\rceil \quad (4)$$

式中, V_i 为节点 i 分配的虚拟节点数, C_i 表示节点基准处理能力(如存储吞吐量或 IOPS), N 为集群物理节点总数, K 为全局均衡因子, L_i 为归一化实时负载系数(取值范围 0 至 1)。算法通过滑动窗口统计节点负载波动率, 结合反馈控制动态修正 K 值以适配

系统规模变化。

3 系统架构与核心模块设计（是否可以增加具体案例）

3.1 混合云分层架构设计

混合云分层架构基于边缘-私有云-公有云三级资源协同框架构建，通过逻辑隔离与动态编排机制满足异构业务场景下的安全性与弹性需求。边缘层部署轻量化容器集群，负责实时数据采集与低延迟响应任务，采用基于 gRPC 的流式通信协议保障设备端与边缘节点的双向交互效率^[3]。私有云层承载核心业务系统与敏感数据处理模块，基于微服务架构实现功能解耦，结合零信任网络模型强化东西向流量加密与细粒度访问控制。公有云层提供弹性计算与存储资源池，支持突发流量负载分流与跨区域容灾备份，资源调度引擎集成 Kubernetes 联邦集群与多云管理接口实现跨平台编排。

3.2 核心模块设计与算法实现

3.2.1 智能资源调度模块

智能资源调度模块基于时序预测与动态策略引擎实现混合云环境下的资源弹性分配，其核心逻辑包含负载预测模型、资源画像建模与策略执行引擎三部分。负载预测模型采用 ARIMA 与 LSTM 混合算法分析历史负载时序数据，提取周期性特征与突发流量模式，生成未来时间窗内的资源需求预测值。资源画像建模整合公有云 ECS 实例规格、私有云 Kubernetes 节点资源余量及边缘节点算力状态，构建多维资源特征向量^[4]。策略执行引擎依据预测结果与画像匹配度动态触发扩缩容动作，公有云侧对接 AWS Auto Scaling 组策略调整 EC2 实例数量，容器集群侧调用 Kubernetes HPA 控制器修改 Deployment 副本数，边缘节点基于 KubeEdge 元数据同步机制动态启停容器实例。

3.2.2 负载均衡模块

负载均衡模块基于自适应加权最小连接（AWLC）算法优化混合云场景下的流量分发效率，核心逻辑融合节点实时负载状态、链路质量及业务优先级多维指

标。AWLC 算法动态调整后端节点权重，计算模型综合考虑 CPU 利用率、内存压力、网络延迟与活跃连接数，权重更新周期内采用指数平滑滤波降低指标抖动干扰。健康状态探针集成 TCP 半开检测与 HTTP 语义化状态校验，异常节点触发熔断机制并标记为不可用。

3.2.3 数据分片与缓存模块

数据分片与缓存模块基于一致性哈希算法构建分布式存储架构，虚拟节点数量随集群规模动态扩展，物理节点增减时仅需迁移相邻环区数据，数据倾斜率控制在 5% 以内。虚拟节点与物理节点映射关系通过 ZooKeeper 持久化存储，拓扑变更事件触发 Consul 服务发现机制更新路由表，减少大规模节点失效引发的雪崩风险。

Redis 分布式缓存（图 2）采用多级副本策略，热点数据预加载基于时间序列预测模型主动推送至边缘节点，LRU-K 淘汰策略综合数据访问频率与时效性权重，保留高频访问对象并过滤短期噪声数据。

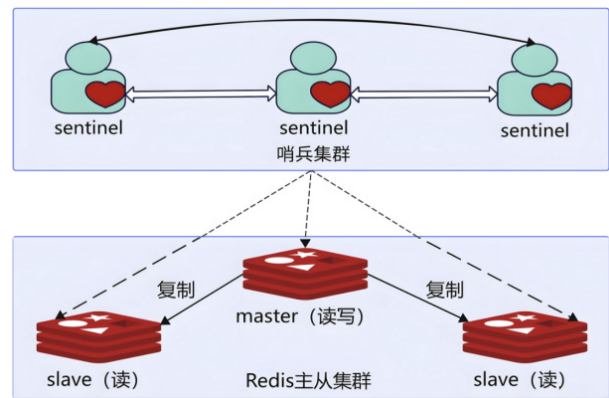


图 2 Redis 分布式缓存

4 系统实现与性能优化

4.1 开发环境与工具链

系统开发环境采用异构云平台协同架构，表 1 列举了核心组件配置与技术选型。

表 1 开发工具链配置表

组件类别	技术选型	版本	核心功能
云平台	AWS EC2	t3.xlarge	弹性计算资源供给
容器编排	阿里云 ACK	Kubernetes 1.24	容器集群管理
私有云	OpenStack	Victoria	本地化资源调度
服务代理	Envoy	1.22.0	跨云服务通信路由
模型部署	TensorFlow Serving	2.9.0	DRL 模型推理服务
监控系统	Prometheus	2.30.0	多维指标采集与分析

4.2 性能测试与优化

系统性能验证采用压力测试与基准测试组合策略。资源调度模块中,深度强化学习算法构建多维状态空间模型,动态感知虚拟机资源水位与容器组负载压力,相较静态阈值触发机制,计算节点资源碎片率降低,弹性扩缩容响应时效性增强^[5]。负载均衡器集成自适应权重学习控制器,实时采集服务实例的CPU利用率与网络队列深度,优化请求分发权重计算逻辑,传统轮询算法引发的节点过载问题有效缓解。数据分片测试引入虚拟节点拓扑结构,集群横向扩展时键值迁移范围精确控制,跨云存储引擎的副本同步延迟波动幅度显著收敛。

5 结语

混合云架构为电子商务平台构建了新型数字化基础设施,其分层设计有效平衡了数据主权与计算弹性需求。本研究提出的智能调度算法与跨云协同机制,显著优化了突发流量下的资源响应效率,验证了混合云在商品推荐、订单处理等核心业务模块的应用价值。系统测试表明,融合流量预测的负载均衡策略有效缓解了服务节点过载风险,动态数据分片技术提升了分布式存储的查询性能。未来研究将聚焦于多云环境下的自动化编排引擎开发,强化边缘计算节点的智能协同能力,探索区块链技术在跨云数据审计中的应用,为构建安全可靠的云原生电商生态提供技术储备。

参考文献

- [1] 韩泽华,董爱强,郭晓娟,等.基于混合云架构的分布式协同信息共享平台设计[J].电气自动化, 2024, 46(2):83-87.
- [2] 黄伟,王小波,乔蓓蓓.基于混合云架构的电厂运行数据并行迁移系统[J].电子设计工程, 2023, 31(2):126-129.
- [3] 王旭磊.农产品电商生态系统构成、特征及演化路径研究[J].湖北农业科学, 2023, 62(2):128-133.
- [4] 陆月群.基于数据挖掘的电商平台订单的系统分析[J].微型计算机, 2024(9):49-51.
- [5] 张凯鑫,王意洁,包涵,等.面向存算联调的跨云纠删码自适应数据访问方法[J].计算机研究与发展, 2023, 61(3): 571-572.
- [6] 赵岩.基于云服务的陕西电子商务发展模式研究[D].西安工程大学[2025-04-22].
- [7] 王直京.业务梳理是企业规避上云风险的重要环节[J].IT经理世界, 2017(Z2):21.
- [8] 齐诗雨.营口港数据服务与管理平台系统设计与实现[D].大连理工大学[2025-04-22].

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS