

云计算与边缘计算在系统集成中的协同应用

李烁

杭州西湖大数据运营有限公司，浙江杭州，310000；

摘要：在数字化转型全面推进的背景下，传统以中心化为主的系统集成架构面临响应迟缓、带宽受限、数据孤岛等难题。云计算与边缘计算作为两种关键的计算范式，其融合发展成为解决新一代系统集成瓶颈的有效路径。本文围绕云边协同架构设计、关键技术机制与实际应用效果，深入探讨其在系统集成场景中的协同价值。通过将云端的资源集中性与边缘的实时响应能力相结合，实现了计算资源的动态分布、数据处理的层级协同与服务能力的就近供给，为工业制造、智慧城市、物联网等复杂场景提供了高效、可靠、可扩展的系统集成解决方案。本文提出了一套适用于多行业的“云-边-端”协同集成模型，并结合典型案例分析其经济效益与运行优势。

关键词：云计算；边缘计算；系统集成；云边协同；实时计算；资源优化

DOI：10.69979/3041-0673.25.10.048

1 云边协同系统架构的融合设计

1.1 云-边-端多层协同架构模型设计

在传统的系统集成领域当中，云计算平台往往更多地肩负起中心控制以及数据汇总分析方面的职能。与之相对应的是，边缘节点在以往只是被当作附属的设施来看待，仅仅具备最为基本的缓存以及转发方面的能力而已。为了能够妥善应对业务既要具备实时性同时又要拥有可扩展性这样的双重需求，本文所提出的‘云-边-端’协同架构会依据实际需求把计算以及服务方面的能力合理地分布到各个不同的层级之上，进而达成资源分层进行配置、功能由不同层级错位承担的效果。在这样的一个模型之中，端设备主要负责完成数据采集以及初步过滤的相关工作。边缘节点这边，则会部署轻量化的 AI 推理以及实时处理模块，以此来实现就近开展计算以及对事件做出快速响应的目的。而对于云端而言，它所承担的任务主要是训练模型、对业务进行统筹安排以及针对数据展开深度分析等诸多工作。

在这样的一种模式之下，边缘节点可不单单只是充当数据中继的角色，它更是以‘自治计算单元’的身份积极参与到整个运算流程当中去的。通过对边缘智能网关、轻量容器以及边缘 K8s 集群加以部署，能够实现本地做出高效决策并且在出现故障的时候可以自行完成修复的良好效果。与此同时，云端还能够针对边缘设备实施远程调度、对其状态进行监控以及下发相关策略等一系列操作，最终形成一个全栈级联且呈现出动态协同状态的系统。

1.2 云边协同的数据流与控制流分离机制

在系统集成这个环节当中，数据流跟控制流二者之间的耦合程度，会对架构所具备的灵活性以及性能方面的表现产生直接的影响。要想让系统的弹性得以增强，同时提升模块的复用能力，云边协同系统就得去实现把数据流和控制流分离开来设计这样的操作。具体来讲，边缘侧要承担起像原始数据采集、对数据做预处理、进行事件识别等等这一系列的流程方面的工作，而控制流则是由云端来对策略管理以及模型优化等事宜进行统筹安排。就在这个过程里，边缘节点会把经过处理之后形成的结构化信息传报给云端，如此一来，既能实现轻量化的传输，又可以让带宽负荷有所降低。云平台会依据对全局视图分析之后得出的结果，动态地往下发放优化策略，比如说模型参数、告警阈值、服务配置等等这些内容。这种分离的机制能够让边缘节点在网络信号比较弱或者是网络断开的环境之下，依然可以维持基础功能的自主运行状态，进而提升系统抵抗外界干扰的能力；而云端的控制，则确保了平台整体上具备可维护性以及能够不断演进的能力。这两者通过异步通信的方式、借助消息队列以及配置下发机制，达成柔性联动的效果，并且实现故障隔离，从而为系统集成营造出一个适应性特别强的运行环境。

1.3 云边资源调度与算力编排优化机制

云边融合架构于资源调度方面提出了更高层级的要求，既要顾及到全局达到最优状态，又得考量本地的响应速度情况。平台通过引入统一调度中台的方式，达成了跨云以及边缘节点的资源编排任务，同时也实现了任务分配事宜。调度系统会依据诸如服务延迟要求、任务计算强度、网络带宽状况等一系列指标，来动态地对

计算任务和执行单元予以匹配。针对那些对实时性要求颇高的任务，会优先将其调度至边缘节点去加以处理；而对于那些需要大量训练资源的模型更新任务，则会集中起来回传至云端去执行操作。并且，结合边缘计算节点的 GPU/NPU 异构资源配置情形，调度器能够支持对算力类型的感知功能，以此确保像 AI 推理这类任务可以在适配的硬件上运行起来，进而提升整体的计算效率。通过把容器编排（Kubernetes）、服务网格以及边缘调度插件相互结合起来，平台得以实现对算力、存储以及网络资源进行灵活地编配，从而形成“中心—边缘—端”相互联动的算力互补机制，为系统集成给予动态弹性方面的有力保障。

2 云边协同的关键技术机制与支撑能力

2.1 边缘智能容器化部署技术

边缘计算节点往往在资源方面存在诸多限制，其设备也是各式各样的，所以难以承载那种传统的、较为重量级的服务框架。而容器技术被引入之后，倒是给在边缘侧去部署智能服务提供了一种颇为理想的解决办法。平台运用像 CRI-O、K3s 这类轻量化的容器运行时，把 AI 推理模型、实时计算模块以及协议适配器等诸多组件给封装起来并且加以隔离，如此一来，能够让系统的复杂性有所降低，同时也能够使部署的效率得以提升。再结合边缘 K8s 编排以及设备识别机制，平台就可以依据硬件资源的实际情况以及具体的场景需求，去动态地部署或者迁移容器实例，以此来确保服务能够持续不间断地开展。在实际进行部署的时候，借助镜像优化以及启动加速等手段，能让边缘服务在短短几秒钟之内就完成初始化的操作，从而满足那种即时响应的相关要求。容器化这一方式不但提升了边缘计算节点在服务方面的弹性以及可维护性，而且还为后续开展服务升级以及版本回滚等工作提供了很不错的技术基础，它可以说是实现对高密度边缘节点进行统一管理以及自动化运维的极为关键的一种支撑力量。

2.2 云边安全协同与隐私保护机制

在多层系统集成架构当中，数据出现跨层级流转的情况，而且资源也会有跨区域调度的情形，如此一来便引发了更为繁杂的安全方面的挑战。边缘计算所部署的位置是靠近终端的，这就使得它特别容易暴露在像物理攻击、网络入侵以及数据劫持等诸多风险之中；云平台呢，它所面临的则是多租户环境里存在的越权访问、非法调用以及资源滥用这些个问题。所以说，去构建一个

贯穿全生命周期，并且将数据、身份以及指令流都囊括在内的协同安全机制，这可是保障云边系统能够稳定运行的一个基础性前提条件呀。在边缘侧这边，通过对本地数据预处理引擎进行部署，从而针对原始数据来开展结构化处理、进行脱敏操作以及实施摘要抽取等一系列工作，以此来避免上传完整的敏感数据，进而降低出现数据泄露的可能性。与此同时，把同态加密与差分隐私算法结合起来，平台在不将原始信息暴露出来的前提之下，能够实现数据的共享以及建模计算等操作，这样便可以为 AI 模型训练以及业务分析给予安全的数据方面的有力支撑呢。

在身份以及通信安全的相关方面，平台全部统一运用零信任架构来开展相关工作，把每一个边缘节点都当作是不可信的实体去加以处理，凭借数字证书、密钥协商还有动态身份验证这些机制，以此来切实保障节点相互之间通信的安全状况。所有的指令下达、服务方面的调用以及配置的变更等操作，都务必要经过像是 mTLS 这类加密隧道，并且还要经过行为验证这一环节，从而有效防止出现中间人攻击的情况以及伪造指令注入的问题。而在云端平台这边呢，则是构建起了较为完善的多租户隔离机制，运用基于 RBAC 也就是基于角色的访问控制以及 ABAC 也就是基于属性的访问控制所形成的权限体系，针对不同的边缘实例、各个服务模块来施行差异化的授权操作，同时展开精细的控制举措。

2.3 服务编排与业务逻辑动态下沉机制

在复杂的业务系统里面，各个边缘节点所面临的应用需求、自身具备的资源能力以及所处的场景环境，这几方面的差异是相当显著的。所以，就要求系统得有能力强把核心业务逻辑依照实际需求下沉下去，而且还要能够灵活地去部署，同时还要做到实时更新才行。当引入了服务编排与规则引擎技术之后，云边协同系统便拥有了可以对业务逻辑进行动态下沉的基础方面的支撑。该平台运用的是集中式服务编排引擎，借助 DSL（领域特定语言）或者 YAML 来对业务流程以及执行规则加以描述，然后再和边缘规则引擎相结合，针对事件条件以及动作响应展开解析并且执行相关操作，这样一来，就能够实现对业务逻辑从分发、部署一直到运转的整个生命周期的管理了。这个平台不光支持依据时间、状态或者事件触发而激活相关逻辑，而且还能够依照 AI 模型在云端所输出的策略，动态地往下发放与之对应的逻辑以及资源，就好比在安防系统当中自动去分发针对高风险区域的人脸识别模型，又或者在能耗监测系统里面加载

用于异常预测的脚本等等情况。

边缘节点在接收到编排任务以后,能够依据本地资源评估所得到的结果,来确定是否要接受任务的下发安排。接着,可凭借沙箱机制或者容器环境去执行相关的逻辑代码,以此来保证运行时能够实现隔离效果,同时确保本地环境的安全。其所支持的微服务涵盖了图像分析、传感器状态监测、设备联动控制以及视频流处理等方面,这些微服务全都可以通过容器来进行封装处理,进而在节点之上实现快速加载操作。而且这一机制还对逻辑的版本控制以及灰度发布提供支持,从而保障新规则在上线的整个过程当中能够保持平滑且处于可控的状态。在服务回调机制这块,边缘节点会借助 MQTT、HTTP、WebSocket 等一系列协议,向云端反馈执行的结果、状态方面的变化情况以及上下文相关的信息,以此来确保全链路是可以被追踪到的,并且任务能够达成闭环状态。服务编排以及业务逻辑的动态部署这一情况,可不单单是打破了传统架构当中那种‘中心决策 - 边缘执行’的静态模式,还在一定程度上赋予了边缘节点自适应以及自治的相关能力,进而实现业务能够按照需求下沉、做到实时响应以及自动演进等,它无疑是促使系统集成从集中式朝着智能分布式进行演化的一个极为关键的突破口。

3 云边协同系统集成的应用成效

3.1 工业制造中的协同集成实践成效

在智能制造的具体场景之下,工业设备的运行状态如何、质量怎样进行监测以及预测维护等各方面,都需要达成数据的实时采集工作,并且要能够实现即时反馈。传统的云计算平台存在着网络延迟方面的情况,而且回传压力也比较大,这样一来就难以去满足车间级系统对于实时响应所提出的需求。

当引入边缘计算之后呢,借助在产线的关键节点去布置边缘服务器以及视觉识别模块的方式,能够达成对设备异常情况的本地识别,同时也可以实现故障预警的功能,并且还能通过云端来对全局工艺参数展开统一的分析,进而对生产流程予以优化。边缘设备和云平台二者之间依靠边缘中间件来实现高效的同步,如此既确保了数据所具有的即时性特点,又维持了管理方面的集中性状态。从实践数据所呈现出来的情况来看,在应用了云边协同架构之后,设备出现故障时的响应时间能够缩短大概 60% 左右,质检的准确率可以提升 15%,设备的利用率也能够提升 12%,这无疑是给制造业的系统集成

模式增添了新的发展动能。

3.2 智慧城市中的实时融合集成案例

智慧城市无疑是多系统融合以及异构数据协同方面颇为典型的代表,像交通、应急、环保、政务等诸多领域,均要达成快速响应以及具备一定的区域自治能力。就拿智慧交通来举例,在道路的交叉口去布设边缘节点,如此一来,便能实现对车流量的实时感知,同时还能让红绿灯实现自适应控制,这在很大程度上能够缓解拥堵状况。与此同时呢,云平台会把全市的道路状况都汇总起来,进而完成宏观层面的调度以及资源的重新分配等相关事宜。当遇到应急事件的时候,边缘节点能够就地开展视频分析工作,并且对风险等级做出相应判断,而云端这边呢,则负责进行信息的推送以及对相关指令进行统一调配。这种云边融合所形成的协同集成模式,使得城市的运行变得更加智能且有序,还提升了应急反应的能力以及市民所获得的服务体验。从相关案例能够看出,在云边融合架构给予支持的情况下,系统整体的响应时延能够降低到原来的 30%,而且数据跨系统处理的时间也能缩短 50% 以上,这无疑为城市治理走向现代化给予了坚实的有力的支撑。

4 结语

云计算与边缘计算的协同融合,标志着系统集成从中心化向分布式、从静态向动态、从被动向智能的全面跃迁。本文围绕云边协同架构的设计理念、关键技术支撑与典型应用实践,系统阐述了云边协同在多场景下的整合价值。通过多层次资源调度、多通道数据交互与多模式业务部署,云边协同集成模式有效解决了传统集成架构中响应滞后、资源浪费与系统不稳定等核心问题。未来,随着 5G、AIoT、分布式计算技术的成熟,云边协同将在更广泛的领域展现出前所未有的系统集成潜力,成为推动数智社会发展的重要支柱。

参考文献

- [1] 王鑫玮, 冯锋. 基于边缘计算在智能温室中的研究与应用[J]. 物联网技术, 2025, 15(08): 108-110.
- [2] 屈媛媛. 基于边缘计算的计算机决策支持系统设计研究[J]. 信息记录材料, 2025, 26(04): 40-42.
- [3] 姜漪. 公共数据开发的边缘计算风险及其规制[J]. 东方法学, 2025, (02): 51-62.
- [4] 黄焜. 基于云计算和边缘计算的控制平台设计方案[J]. 自动化应用, 2025, 66(06): 240-242.