

# 基于异构算力边端协同的智慧巡检组网部署分析

## Deployment Analysis of Edge End Collaborative Intelligent Inspection Based on Heterogeneous Computing Power

董紫淼<sup>1</sup>,孔令楠<sup>2</sup>,徐亚楠<sup>1</sup>,隗英英<sup>1</sup>,殷继承<sup>3</sup>(1. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033;2. 中国电信股份有限公司云计算分公司,北京 100080;3. 中国联通新疆维吾尔自治区分公司,新疆 乌鲁木齐 836500)

Dong Zimiao<sup>1</sup>,Kong Lingnan<sup>2</sup>,Xu Yanan<sup>1</sup>,Wei Yingying<sup>1</sup>,Yin Jicheng<sup>3</sup>(1. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 2. China Telecom Corporation Limited Cloud Computing Branch, Beijing 100080, China; 3. China Unicom Xinjiang Uygur Autonomous Region Branch, Urumqi 836500, China)

### 摘要:

网络机房是行业信息化的核心,其日常巡检对运营商至关重要。传统人工巡检人力成本高,难以满足精细化管理与网络安全运营需求。为此,构建基于边端协同的智慧巡检系统,在云端部署AI训练平台生成模型,并通过网边缘将模型推送至端边缘,实现实时推理。物联网设备就近采集数据并在端侧进行推理,降低时延与传输成本,同时依托边缘调优平台形成模型闭环优化,提升效率、控制成本并支持灵活部署。该系统具备完善的算网编排调度能力,可实现机房智能巡检与运维,扩展性与场景适应性良好,能为未来复杂业务提供可靠支撑。

### 关键词:

通信应用技术;边端协同;异构算力;智慧巡检;AI  
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2026.04.003  
文章编号:1007-3043(2026)04-0016-06  
中图分类号:TN919  
文献标识码:A  
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

Network computer rooms are the core of industrial informatization, and their daily inspection is crucial for operators. Traditional manual inspection incurs high labor costs and can hardly meet the needs of refined management and network security operation. Therefore, it constructs an intelligent inspection system based on edge-end collaboration. An AI training platform is deployed in the cloud to generate models, which are pushed to the end-edge through the network edge for real-time inference. The system collects data nearby via IoT devices and conducts inference at the end side, reducing latency and transmission costs. Relying on the edge optimization platform, it forms a closed-loop model optimization, improving efficiency, controlling costs and supporting flexible deployment. With complete computing-network orchestration and scheduling capabilities, the system enables intelligent inspection, operation and maintenance of computer rooms. At the same time, due to the good scalability and scenario adaptability, it can provide reliable support for future complex services.

### Keywords:

Communication application technology; Edge end collaboration; Heterogeneous computing power; Smart inspection; AI

引用格式:董紫淼,孔令楠,徐亚楠,等. 基于异构算力边端协同的智慧巡检组网部署分析[J]. 邮电设计技术,2026(4):16-21.

## 1 边端协同智慧巡检背景

随着信息技术的飞速发展和企业数字化转型的深入推进,社会各行各业对网络的依赖程度日益加深,而5G支持网络性能灵活配置,可满足行业网络的不同需求<sup>[1]</sup>。网络机房作为信息传输和存储的重要节

点,其安全性和稳定性对于保障社会各行各业正常运转具有重要意义。运营商日常维护巡检各行各业的网络机房成为一项极其重要的任务,涉及动环、安保、设备、环境等多个关键方面的检查和维修,需要具备丰富经验和技能的专业运维人员来了解并判断机房各种设施设备的状态。传统的机房巡检方式往往存在效率低下、响应速度慢等问题,难以满足企业对于机房管理的精细化需求和社会对网络安全和效率的

收稿日期:2026-03-07

高要求。MEC 边端协同技术处于更靠近移动终端的边缘位置,可以为移动用户提供云计算功能和信息计算服务,以减少网络延迟并提高应用的性能<sup>[2-3]</sup>。因此,探索利用边端一体化协同技术来提升网络机房巡检的实时化、智能化和高效化,实现企业降本增效,成为社会发展的必然趋势<sup>[4]</sup>。

## 2 面向海量边缘业务和异构算力的边端协同方案的亮点

依托现有 5G 边缘计算集约化业务支撑平台,研发支持“智算云池—网边缘—端边缘—物联网终端”多层网络结构的统一调度管理系统,构建适配智慧巡检的异构算力和多层 AI 计算结构,实现相关能力孵化和“一点分发”业务功能,支持分布式应用开发和灵活部署,实现便捷应用部署<sup>[5]</sup>。

“云网边端业智”一体化协同的技术优势和方案亮点主要体现在以下几个方面。

a) 灵活适配,体验优化。提供“智算云池+边侧 5G 边缘一体化算网设备+端侧边缘盒子+物联网终端”整体解决方案,同时支持根据客户实际需求定制配置与扩展能力,有效平衡多场景应用需求与投入成本,降低部署运维复杂度,简化操作流程,提升用户使用感受。

b) 集成设计,效能卓越。实现软件硬件深度融合、算力网络紧密衔接、通信与信息技术能力整合,提供一站式交付与整体化部署模式,达成即装即用的便捷体验。

c) 协同调度,资源高效。依托云网边端协同机制与智能编排能力<sup>[6]</sup>,实现边缘计算资源与终端设备的统一管理 with 动态调配,提升资源利用效率与系统整体性能,为分布式应用提供有力支撑。

d) 技术先进,运行稳定。基于 kubernetes (简称 k8s) 非侵入式的 openyurt 技术框架,为系统架构提供可靠容器编排与管理功能,保障应用稳定运行与高效运维。

## 3 异构算力的边端协同智慧巡检技术研究

利用 5G 边端一体化协同技术、多层 AI 计算结构和 EdgeX 物联网设备管理能力,完成机房智慧巡检业务探索,特别是在地域广袤的省/自治区的不同地(市)间的机房数据互通协同的关键场景下<sup>[7]</sup>,实现安全、高效、实时的巡检目标。

### 3.1 基于边端协同的智慧巡检总体架构

本文采用“智算云池+边侧 5G 边缘一体化算网服务设备+端侧边缘盒子+物联网设备”的“云网边端物”网络架构,分层提供“能力供给”和“集约服务”,面向客户、交付和运营人员,一点支撑全网业务开展。端侧盒子设备作为现有边缘计算节点面向场景的下沉补充,部署位置灵活。端边缘设备可感知机房区域的视频数据,实现物联网设备管理和数据回传,同时支持 AI 推理能力,可用于处理和分析实时视频数据。边侧 5G 边缘一体化算网服务设备作为网边缘设备,实现了算网编排以及“云网边端物”的协同调度。该设备部署了高效的 AI 算法调优模型,利用端侧回传的数据完成模型调优,以更好地契合不同机房的真实现场环境,解决安全隐患,支持安全巡检工作。

基于边端协同的智慧巡检探索的总体架构如图 1 所示。在本文提出的异构算力边端协同的智慧巡检业务中,端边缘通过 IP-RAN 接入地(市)级 MEC 节点,边侧设备采用 k8s 底座,搭载 openyurt 系统,安装并对接某自治区网边缘实验节点 nodepool;端侧盒子搭载非侵入式 openyurt 技术方案,并通过 docker 镜像的方式在边侧和端侧协同部署 EdgeX 能力。端边缘、网边缘、中心云池多层级网络架构分别部署 AI 视觉识别训练、调优、推理模型应用,完成端到端测试<sup>[8]</sup>。

### 3.2 业务探索过程中发现的问题以及解决方案

由于 k8s 原生的集群自主调度功能,如果在实际部署边端 openyurt 业务时未执行污点操作,则会导致端侧盒子在加入集群中后,集群的 kubevirt-controller、ceph 等组件被 openyurt 调度到端侧,最终导致虚拟机无法启动。因此,需在部署盒子的部署脚本中增加污点,防止 k8s 集群调度。

在探索过程中,原生 openyurt 可能存在 yurtmanager 和 k8s 的 manager 分配冲突的问题,openyurt 盒子注册后会导致证书注册失败,并持续刷新处理 etcd 无效信息,etcd 溢出。对此,根据研究,修改 etcd 原生参数,新增历史版本过量删除能力,并 fix in openyurt 社区,即可完成问题闭环。

端侧盒子接入到 R1-RN 交换机中,并通过 IP-RAN 接入到核心交换机,IP-RAN 的核心交换机则作为网关使用,端侧盒子需通过用户规定的网段接入 MEC。因此,在项目探索中,需在边侧 MEC 中新建 Pod 挂载双网卡,并在 Pod 上设置白名单来保证网络安全,同时采用 SVC 的方式,配置客户需求网段的带外地址,区分



定的VPC业务,边侧节点同步添加访问限制规则。

同时,在研究过程中发现,考虑到安全等因素,边端协同中k8s需要裁剪掉部分原生功能,具体如下。

a) 不建议采用DaemonSet型工作负载,可以通过将DaemonSet重新配置为Pod的Sidecar容器来运行。

b) 不支持在Pod manifest中指定HostPath和HostNetwork。

c) 不支持Privileged权限容器,可以使用SecurityContext为Pod添加Capability。

d) 不支持NodePort型Service。

e) 不允许用户创建CRD(如clickhouse-operator等)或cluster级别的资源。

### 3.3 异构算力边端协同探索测试

根据探索可知,在异构算力边端协同场景下,最终需实现端边缘和MEC网边缘之间的数据互通和管理。基于此,设计如下测试。

该测试的目标为从用户的视角,使用API从端边缘发送消息到网边缘,实现数据互通。测试的前置条件为openyurt环境运行正常;已存在边缘节点edge-1,并加入nanjing的节点池中。具体实验步骤如下。

a) 创建端边缘。若创建成功,则返回201。

b) 创建网边缘。若创建成功,则返回201。

c) 端边缘发送信息到网边缘,端边缘的地址为10.224.0.39,可根据环境进行修改。若发送成功,则返回200。

d) 网边缘查看消息:kubectl get device send -oyaml。

步骤a)到步骤d)的结果分别如图3到图6所示。

```
* TLSv1.3 (OUT), TLS app data, [no content] (0):
* We are completely uploaded and fine
* TLSv1.3 (IN), TLS handshake, [no content] (0):
* TLSv1.3 (IN), TLS handshake, Newsession Ticket (4):
* TLSv1.3 (IN), TLS app data, [no content] (0):
* Connection state changed (MAX_CONCURRENT_STREAMS == 250)!
* TLSv1.3 (OUT), TLS app data, [no content] (0):
* TLSv1.3 (IN), TLS app data, [no content] (0):
* TLSv1.3 (IN), TLS app data, [no content] (0):
* TLSv1.3 (IN), TLS app data, [no content] (0):
< HTTP/2 201
```

图3 步骤a)结果示意

```
* TLSv1.3 (IN), TLS app data, [no content] (0):
* TLSv1.3 (IN), TLS app data, [no content] (0):
< HTTP/2 201
```

图4 步骤b)结果示意

```
[root@an-openyurt-test-2~]# curl -v -XPOST 10.224.0.39:8888/message -d 'hello world!!'
Note: Unnecessary use of -X or --request, POST is already inferred.
* Trying 10.224.0.39...
* TCP_NODELAY set
* Connected to 10.224.0.39 (10.224.0.39) port 8888 (#0)
> POST /message HTTP/1.1
> Host: 10.224.0.39:8888
> User-Agent: curl/7.61.1
> Accept: */*
> Content-Length: 13
> Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
>
* upload completely sent off: 13 out of 13 bytes
< HTTP/1.1 200 OK
```

图5 步骤c)结果示意

```
uid: 21574df5-f526-449d-8b09-bc8b25fb3cd9
spec:
  adminState: UNLOCKED
  managed: true
  nodePool: nanjing
  notify: false
  operatingState: UP
  profileName: nanjing-message-read-route-template
  protocols:
    mqtt:
      CommandTopic: message/text-message
  serviceName: device-mqtt
status:
  adminState: UNLOCKED
  deviceProperties:
    message:
      actualValue: hello world!!
      getURL: http://edgex-core-command:59882/api/v2/device/name/send/message
      name: message
  edgeId: 9d4b25d5-181c-4a37-b4a2-1db39b360570
  operatingState: UP
  synced: true
[root@cloud ceshi]#
```

图6 步骤d)结果示意

## 4 应用案例与效益评估

### 4.1 基于边端协同的重点应用场景

应用案例的整体架构示意如图7所示。在数据机房及户外线缆区域,通过在机房内部及线路上部署摄像头,用户可实时监控设备运行状态。系统利用端边缘设备实现本地流量卸载和AI实时推理,同时将实时性要求较低的模型微调任务部署在网边缘侧,通过边端协同机制完成网边缘对端边缘的调度与数据整合。通过持续的迭代优化,模型性能得到显著提升,能够有效应对各类复杂巡检场景。这一方案不仅成功解决了传统巡检方式中存在的数据传输延迟、处理能力不足等问题,提升了机房巡检的效率和准确性,还为

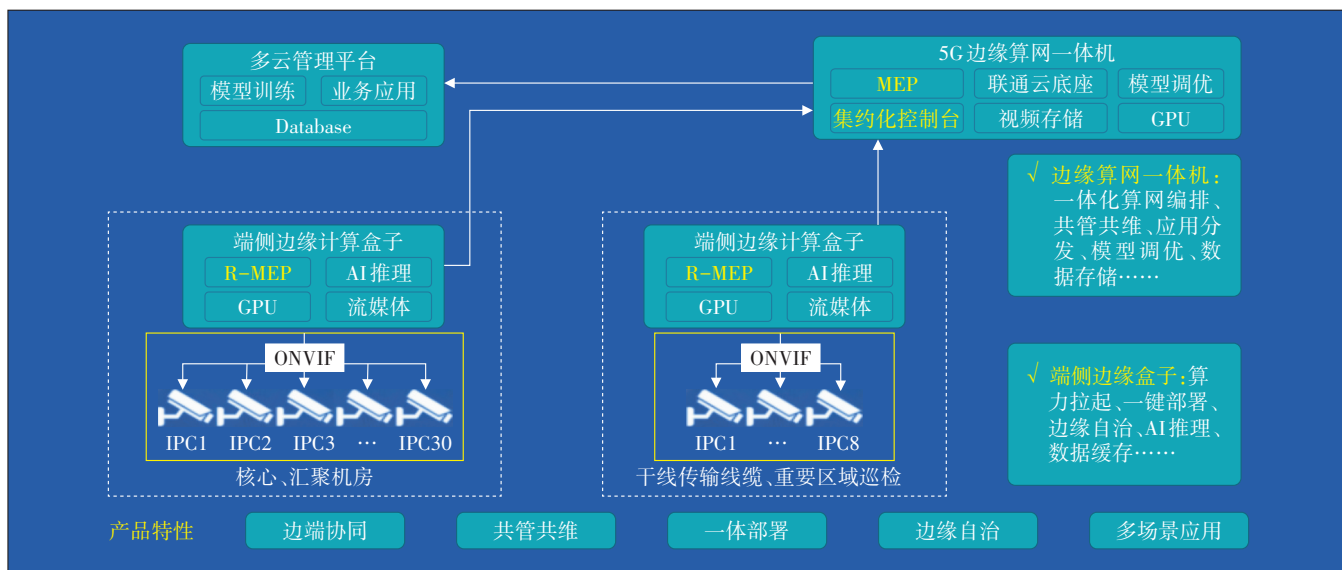


图7 应用案例的整体架构示意

数据中心智能化管理提供了强有力的技术支撑。

应用案例的部署和功能如下。中心机房至少要部署1个网边缘设备,每个机房约有37个端边缘设备接入到网边缘设备,每个端边缘设备搭载2~5路摄像头。该架构支持国产芯片以及国产GPU,适配ARM和X86服务器,AI算力为8~14 T INT8;端边缘设备通过支持Wi-Fi/5G/有线方案接入MEC,支持云边协同、软硬件解耦;物联网侧采用ONVIF协议标准的摄像头等物联网设备,通过有线直连RJ45、Wi-Fi等方式将实时视频数据传送至端边缘设备,通过摄像头视频数据可对进出数据机房的人员进行识别、入侵检测、消防警戒和安全生产监察。

该架构支持云边端AI协同。在充分考虑各层算力和业务需求的情况下,在端侧边缘盒子内置高性能GPU,确保视频推理和流媒体服务的快速执行<sup>[10]</sup>;在网边缘侧执行AI算力卸载,支持算法动态下发、安装和删除,在边侧一体机上部署模型调优平台,支持模型的微调与持续优化;在用户的智算云池部署模型训练框架,该框架具备大规模GPU硬件,支持大规模模型训练。这种算力分配方式既保证了数据处理的高效性,又满足了业务需求的多样性<sup>[10]</sup>。

同时,构建高效的数据采集与传输体系。部署于“端”侧的边缘盒子借助摄像头等各类物联网感知设备,可实时获取机房内的设备运行状态、环境温湿度及人员进出记录等关键运维数据,这些信息通过标准化的数据接入通道实时传输至“边”侧的边缘一体化

算网服务设备。在数据汇聚至“边”侧后,部署于该节点的算法优化平台将对收集的现场数据进行深度分析,持续对既有AI模型实施精细化调参与性能优化。通过这种数据驱动的迭代机制,模型的精度与适应性显著提高,能够更加精准地应对各类复杂多变的巡检应用场景。

最终,本文构建了“边一端”协同的算网一体化运营体系,形成了从云端到边缘的完整闭环能力。在该体系中,云端智算云池承担了大规模模型运算任务,而分布式的端侧与网络边缘设备通过高效协同,实现了机房数据的实时采集、敏捷传输、智能处理与精准推理。这一创新架构显著提升了机房巡检的效率与精准度,为数据中心的智能化运维提供了核心技术支撑。方案的实施有效解决了传统人工巡检模式中普遍存在的数据延迟、算力瓶颈等痛点问题,全面增强了机房安全生产保障与运行效能。同时,该架构具备充分的弹性扩展能力,能够根据业务发展需求进行灵活适配与升级,可延伸支持更复杂的业务场景,为后续引入机器人巡检等创新应用预留了技术空间。边端协同数据机房区域智慧巡检业务效果示意如图8所示。

#### 4.2 效益评估

在智慧巡检场景中,采用标准款5G边缘一体化算网服务设备+端边缘硬件设备,构建基于5G边缘计算的“云—边—端”网络架构,打造端侧边缘盒子产品形态,端侧边缘盒子可作为现有5G MEC节点面向场景

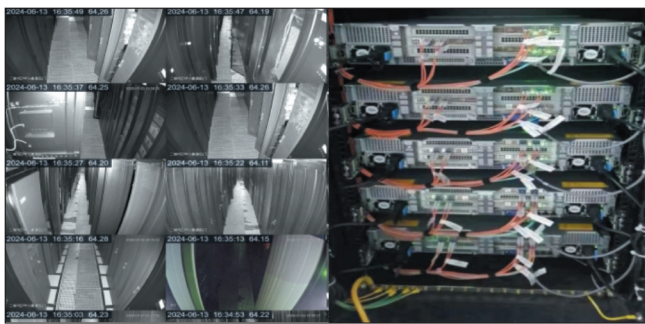


图8 边端协同数据机房区域智慧巡检业务效果示意

的下沉补充。该云边端一体化协同架构具备算网一体调度编排、“边一端”共管共维以及“云一边一端”的协同调度等能力,可降低漏报和误报率,提升效益,降低人工成本。

其中,在提升巡检效率与降低成本方面,基于5G边缘计算和物联网技术的智能巡检实现了实时视频数据的处理和分析,由每日6人次巡检降低到每日1人次巡检,减少了巡检人员的巡检周期;巡检工作从6h/天降低至0.5h/天,降低了巡检工作量;单机房节省人工9人月/年,某自治区共有14个地(市)级核心机房,预计节省人工成本126人月/年,大幅降低巡检成本。通过应用AI算法和模型,增强了巡检精度,漏报和误报率降低至原本的40%,效益提升60%。

业务处理下沉至边缘,提升了业务实时性,大幅节省网络带宽。一体机产品通过Pool-Coordinator和Yurthub的协同,单一节点池内云边只有一份pool scope data通信数据,使网络带宽需求降低至原本的23%,数据传输速率提高80%,系统实时性大幅提升。

利用智能摄像头和传感器等设备,全方位监控网络环境,提高了巡检的效率和准确性<sup>[10]</sup>。此外,基于AI算法的数据分析和处理还可以实现对网络状态的智能预测和预警,为网络的稳定运行提供有力保障。经评估,系统安全性大幅提升,巡检准确率由70%提升至92%。

### 4.3 用户价值

在两地机房应用5G边缘计算和物联网技术进行智慧巡检,为用户带来了多方面的价值。

a) 提升巡检效率与降低成本。基于5G边缘计算与物联网的智能巡检,可实时处理分析视频数据,缩短巡检周期、减少人力投入与成本,并通过AI提升巡检精度、降低漏报误报率。

b) 数据驱动的决策支持。通过收集和分析大量

的巡检数据,用户可以更加深入地了解网络设备的运行状态、环境的变化趋势等,从而做出更加科学、合理的决策。这种数据驱动的决策方式有助于提升用户的运营水平和市场竞争力。

c) 提升企业形象与品牌价值。采用先进的5G边缘计算和物联网技术进行安全巡检,不仅展示了用户在技术创新和安全生产方面的实力,也提升了企业的社会形象和品牌价值,有助于增强用户的市场竞争力和社会影响力。

### 参考文献:

- [1] 宋向前. 5G通信传输承载网络框架结构技术浅析[J]. 数字通信世界, 2021(9): 133-134.
- [2] 黄韬,汪硕,黄玉栋,等. 确定性网络研究综述[J]. 通信学报, 2019, 40(6): 160-176.
- [3] 方琰威,李立平,陈亚权. 5G 2B专网解决方案和关键技术[J]. 移动通信, 2020, 44(8): 1-6.
- [4] 文涛,谭蓓,江晓筠. 5G边缘云网业协同方案研究[J]. 邮电设计技术, 2021(9): 51-56.
- [5] 赵远,辛冰,马洪源,等. 边缘计算商业模式及落地部署关键方案[J]. 电信科学, 2020, 36(9): 160-171.
- [6] 张岳,李晓亮. 5G MEC边缘云组网与业务使能研究[J]. 通讯世界, 2020, 27(9): 9-10.
- [7] 郑毅. 基于边缘计算的高效低时延通信传输技术研究[J]. 数字通信世界, 2023(10): 14-16.
- [8] 中国联通边缘计算平台v3.0架构升级及创新行业场景应用白皮书[R/OL]. [2025-08-26]. <https://www.bianyuan.com/wp-content/uploads/2022/11/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%81%94%E9%80%9A%E8%BE%B9%E7%BC%98%E8%AE%A1%E7%AE%97%E5%B9%B3%E5%8F%B0v3.0%E6%9E%B6%E6%9E%84%E5%8D%87%E7%BA%A7%E5%8F%8A%E5%88%9B%E6%96%B0%E8%A1%8C%E4%B8%9A%E5%9C%BA%E6%99%AF%E5%BA%94%E7%94%A8%E7%99%BD%E7%9A%AE%E4%B9%A6.pdf>.
- [9] 冯征,周维,卜忠贵,等. 5G边缘计算组网关键技术研究[J]. 移动通信, 2022, 46(1): 1-9.
- [10] 高沛,蔡超,侯迎龙,等. 基于5G边缘计算的“边-端”一体化能力助力新疆海量边缘业务和异构算力高效交付运维[J]. 自动化博览, 2025, 42(2): 78-80.

### 作者简介:

董紫淼,毕业于南开大学,工程师,硕士,主要从事5G MEC网络相关产品、边端协同、MEC等技术研究与创新业务孵化等工作;孔令楠,工程师,硕士,主要从事公有云/私有云网络相关产品设计、网络IT相关产品创新运营等相关工作;徐亚楠,工程师,硕士,主要从事5G无线技术、MEC等技术研究与创新产品等工作;隗英英,硕士,主要从事中国联通边缘计算架构以及k8s关键技术研究工作;殷继承,工程师,硕士,主要从事网络IT、数字化运营等工作。