



云边协同产业方阵



云计算开源产业联盟

OpenSource Cloud Alliance for Industry, OSCAR

云边协同关键技术态势 研究报告 (2021年)

云边协同产业方阵

云计算开源产业联盟

2021年6月

版权声明

本报告版权属于编写单位，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本调查报告文字或者观点的，应注明来源。违反上述声明者，将追究其相关法律责任。

编写说明

牵头单位：

中国信息通信研究院

参与单位（排名不分先后）：

华为云技术有限公司、中移（苏州）软件技术有限公司、中国移动杭州研发中心、新华三技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、九州云信息科技有限公司、飞诺门阵（北京）科技有限公司

编写人：

栗蔚、徐恩庆、李昂、董恩然、罗欧、张琳琳、车昕、孙宗哲、刘思颖、何川、祖子月、齐飞、高巍、赵立芬、王伟、陈亮、罗建孝、刘旭、时帅兵、扈立仁、袁智、刘小华、李响、胡卫国、李爱雄、葛强

前 言

2021 年，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》中提出要“协同发展云服务与边缘计算服务”。云计算从上一个快速发展的十年进入到下一个普惠发展的黄金十年，边缘计算作为一项新兴技术伴随 5G、工业互联网等快速发展愈发受到关注。打造云边协同的新型基础设施将是实现分布式资源灵活调度、全域数据高速互联以及智能应用渗透边缘的重要途径。

云边协同，需要靠实际应用场景来驱动，也在形成日益健壮的技术生态，其应用场景和技术体系是产业界热衷于探讨的两大话题，这两方面也在互相交织发展。2019 年，依托云计算开源产业联盟，中国信息通信研究院联合业界专家，编写了《云计算与边缘计算协同九大应用场景》白皮书，对云边协同典型应用场景进行了梳理和展示。2021 年，让我们切换视角，将关注重点瞄准云边协同关键技术研究。

本报告以《云边协同关键技术态势研究报告》为题，由中国信息通信研究院依托云边协同产业方阵和云计算开源产业联盟，继续联合产业多方撰写，旨在梳理云边协同关键技术点呈现出的发展态势，为云边协同产业发展提供参考。

目 录

版权声明.....	2
一、 云边协同发展总体态势.....	1
(一) 看云边协同的战略高度：“十四五”新词用意深远.....	1
(二) 谈云边协同的关注热度：Gartner 热词反复聚焦.....	2
(三) 观云边协同的应用进度：赋能千行百业的大戏已开唱.....	3
(四) 思云边协同的技术成熟度：恰同学少年，涉世未深，体系渐全.....	4
二、 云边协同全局管理能力逐步完善，促进计算资源分布式发展.....	5
(一) 整体背景：云边协同全局管理是计算资源分布式发展的基础.....	5
(二) 技术洞察：云边协同全局管理平台为边缘节点管理保驾护航.....	5
(三) 发展态势：全局智能协同管理成为云边协同管理演进方向.....	6
三、 云原生技术向边缘下沉，边缘容器加速云边协同发展.....	7
(一) 整体背景：轻量灵活的容器技术天然匹配边缘场景需求.....	7
(二) 技术洞察：边缘容器产品普遍呈现“青出于蓝而胜于蓝”样貌.....	7
(三) 发展态势：更轻部署、软硬一体化、新兴技术融合.....	8
四、 云边数据协同分析和处理，有效提升数据使用效率.....	9
(一) 整体背景：万物互联时代下边缘数据分析处理成为刚需.....	9
(二) 技术洞察：多维技术有效应对边缘数据处理全新挑战.....	9
(三) 发展态势：融合深度学习的智能分析将进一步提升数据应用效果.....	11
五、 人工智能与边缘计算逐步融合，边缘智能成为核心应用.....	12
(一) 整体背景：AI 能力逐步下沉，边缘智能应运而生.....	12
(二) 技术洞察：边缘智能技术体系初露头角.....	13
(三) 发展趋势：技术融合推动边缘智能迈向新发展阶段.....	15
六、 MEC 从概念走向落地，加速 5G 时代边缘计算发展.....	15
(一) 整体背景：MEC 成为 5G 网络边缘侧部署的最优选择.....	15
(二) 技术洞察：MEC 边缘云技术能力逐渐清晰.....	16
(三) 发展态势：MEC 边缘云各参与方融合发展.....	18
七、 安全防护边界不断延伸，云边一体化安全体系成为重要保障.....	18
(一) 整体背景：服务向边缘侧延展引入全新安全防护需求.....	18
(二) 技术洞察：全方位安全能力筑牢云边协同防护屏障.....	19
(三) 发展态势：“零信任”时代需更加精细化的安全体系.....	21
八、 边缘物理设备技术成熟，加速构建场景化边缘基础设施.....	21
(一) 整体背景：边缘物理设备成为云边协同向用户侧拓展的新风口.....	21
(二) 技术洞察：多样的边缘物理设备解决不同应用场景的基础设施建设.....	22
(三) 发展态势：面向应用场景加速构建边缘基础设施.....	24
九、 开源边缘计算平台百家争鸣，加速整合碎片化生态.....	25
(一) 整体背景：开源路线是推进边缘计算产业壮大的优选.....	25
(二) 技术洞察：主流边缘计算玩家全面拥抱开源.....	25
(三) 发展态势：兼容 Kubernetes 成各开源架构演进趋势.....	27

一、云边协同发展总体态势

（一）看云边协同的战略高度：“十四五”新词用意深远

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》中提出要“协同发展云服务与边缘计算服务”。在国家顶层规划文件中，提出云与边协同发展，高屋建瓴，立意深远。

过去十年是云计算突飞猛进的十年，全球云计算市场规模增长数倍，我国云计算市场从最初的十几亿增长到现在的千亿规模，全球各国政府纷纷推出“云优先”策略，我国云计算政策环境日趋完善，云计算技术不断发展成熟，云计算应用从互联网行业向政务、金融、工业、医疗等传统行业加速渗透。未来，云计算仍将迎来下一个黄金十年，进入普惠发展期。一是随着新基建的推进，云计算将加快应用落地进程，在互联网、政务、金融、交通、物流、教育等不同领域实现快速发展。二是全球数字经济背景下，云计算成为企业数字化转型的必然选择，企业上云进程将进一步加速。三是新冠肺炎疫情的出现，加速了远程办公、在线教育等 SaaS 服务落地，推动云计算产业快速发展。

边缘计算愈加备受关注，云边协同成为重要趋势。中国信息通信研究院的云计算发展调查报告显示，目前我国有 3.37% 的企业已经应用了边缘计算；计划使用边缘计算的企业占比达到 44.23%。随着国家在 5G、工业互联网等领域的支持力度不断加深，预计未来边缘计算的使用率将快速增长。随着 5G、物联网等技术的快速发展和云

服务的推动使得边缘计算备受产业关注，但只有云计算与边缘计算通过紧密协同的方式才能满足各种场景的需求，从而最大化体现云计算与边缘计算的应用价值。未来，随着新基建的不断落地，构建端到端的云边协同架构将是实现全域数据高速互联、应用整合调度分发以及计算力全覆盖的重要途径。

（二）谈云边协同的关注热度：Gartner 热词反复聚焦

Gartner 2018 年十大战略科技发展趋势列出了从云到边缘（**Cloud to the Edge**）；

Gartner 2019 年十大战略科技发展趋势列出了边缘赋能（**Empowered Edge**）；

Gartner 2020 年十大战略科技发展趋势列出了分布式云（**Distributed Cloud**）和边缘赋能（**The Empowered Edge**）；

Gartner 最新发布的 2021 年核心战略技术趋势继续列出了分布式云（**Distributed Cloud**）。并预测，到 2025 年，超过 50% 的组织将在其选择的地点使用分布式云，从而实现转型业务模式。

分布式云是什么？ 为了满足视频直播、AR/VR、工业互联网等场景下更广连接、更低时延、更好控制等需求，云计算在向一种更加全局化的分布式组合模式进阶。分布式云或分布式云计算，是云计算从单一数据中心部署向不同物理位置多数据中心部署、从中心化架构向分布式架构扩展的新模式。分布式云是未来计算形态的发展趋势，是整个计算产业未来决胜的关键方向之一，对物联网、5G 等技术的广泛应用起到重要支撑作用。包括电信运营商、互联网云服务商等在内

的各类型厂家纷纷进行相关尝试，利用自身优势资源，将云计算服务逐步向网络边缘侧进行分布式部署。云边协同是分布式云的核心要义。为了让“万物互联”的世界更加智能，通过将云计算的能力进行拓展，边缘云能够深入到传统中心云无法覆盖到的边缘应用场景。同时，分布式云通过云边协同，提供了一种更加全局化的弹性算力资源，为边缘侧提供有针对性的算力。

（三）观云边协同的应用进度：赋能千行百业的大戏已开唱

云计算开源产业联盟《云计算与边缘计算协同九大应用场景（2019）》白皮书描绘了云边协同在内容分发网络（CDN）、工业互联网、能源、智能家庭、智慧交通、安防监控、农业生产、医疗保健、云游戏等九个行业的应用场景。但事实上，在2019年之前，云边协同的实际应用案例相对较少，产业界还在预热。

进入到2020年之后，相关云边协同应用场景逐渐明晰，一些实际应用案例开始崭露头角。可以看一下中国信通院在2020年和2021年征集的分布式云与云边协同应用创新十佳案例。

表 1. 2020 分布式云与云边协同十佳实践案例

案例名称	行业类型
新风鸣 5G 智慧云链工业互联网平台	工业
融合金融风险管控的智慧畜牧应急响应系统	农业
海尔基于 5G+边缘计算的云边协同解决方案	工业
联想物联网平台电子行业 SMT 产线应用	工业
中移在线容器云边协同平台项目	通信
天猫精灵基于边缘云 ENS 系统的终端云化解决方案	娱乐
上海申通地铁集团车辆运维系统	交通
视频图像智能分析系统和稽查数据分析应用项目	交通
全国高速取消省界收费站项目	交通

广西工业互联网平台	工业
-----------	----

表 2. 2021 分布式云与云边协同十佳实践案例

案例名称	行业类型
申通 IoT 云边端一体化项目	交通
人工智能平台云边协同组件建设项目	能源
钢铁云边端协同应用案例	工业
基于智能边缘小站 IES 的全景新闻阅读解决方案	娱乐
基于云边协同的智能电网应用	能源
章丘智慧社区项目	其它
基于容器的下一代车云协同架构	工业
中国外运 E 拼分布式云边融合项目	交通
重庆交控智能运维项目	交通
中国移动智能组网云边协同运维支撑平台	通信

可以看出，相关案例已经覆盖了工业、能源、交通、通信等多个行业。这些案例大概反映出了云边协同的典型赋能特点：有的场景是因为业务低时延需求，在业务系统云端部署的同时将部分时延敏感实时处理任务下沉到边缘；有的是着眼于降低云端计算压力和网络带宽成本；有的是利用云边在智能应用上的协同优势；有的则综合时延、成本、性能、可靠性等。伴随数字化转型浪潮的快速推进，云边协同赋能千行百业的时代已经到来。

（四）思云边协同的技术成熟度：恰同学少年，涉世未深，体系渐全

随着云边协同相关技术的不断发展，以资源协同、数据协同、服务协同、应用协同、运维协同、安全协同等为基础的分布式云体系架构已经逐渐成熟，而以云服务商为主的云边协同体系建设者们则发挥各自优势，继续完善云边协同技术体系架构。

纵观整个技术路线领域，覆盖了从硬到软的全体系技术点，从全局化管理平台到轻量化部署技术，从底层设备到上层数据与智能的协同方向，再看 MEC 边缘云、一体化安全等关键要点，以及整体技术框架的开源趋势，本报告的主体部分会阐述这些技术路线的发展态势。整体看，云边协同的技术体系已经日渐丰满，在每条细分的技术赛道上也都呈现出蓄势待发之势，在与日俱增的场景需求的带动下，云边协同的技术生态必要愈发健壮、繁荣。

二、云边协同全局管理能力逐步完善，促进计算资源分布式发展

（一）整体背景：云边协同全局管理是计算资源分布式发展的基础

分布式云时代的到来，边缘计算节点数量迅速增加，分散的边缘计算资源管理、边缘计算节点严重异构、边缘应用统一运维管理成为计算资源分布式发展的主要挑战。通过在云端搭建云边协同全局管理平台，对边缘计算节点进行统一纳管，从资源、数据、服务、应用、安全、运维等方面实现云端与边缘计算节点间的协同，是分布式云模式下计算资源分布式发展的基础。

（二）技术洞察：云边协同全局管理平台为边缘节点管理保驾护航

云边协同管理通过在云端搭建统一的全局管理平台，对边缘计算节点进行统一纳管，保证 X86、ARM、GPU 等异构硬件能够接入到云

端，联动云端与边缘计算节点间的数据，并通过云边协同将 AI、大数据等应用能力部署到边缘计算节点，对边缘计算资源进行远程管控、数据处理、分析决策、智能部署等操作。

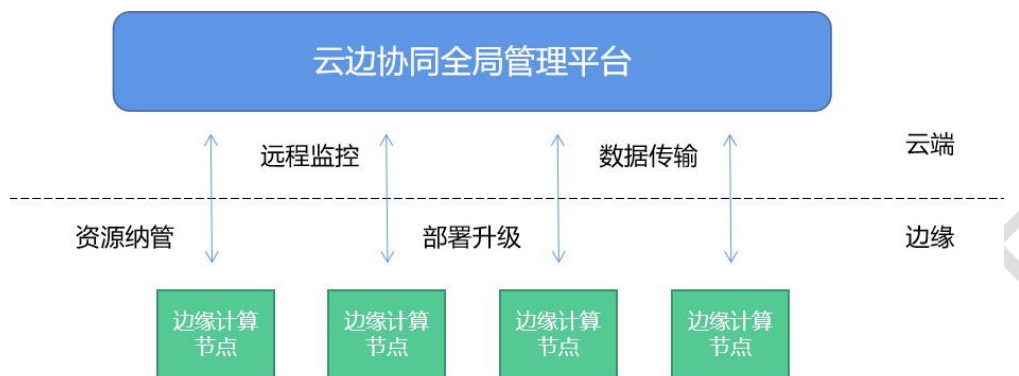


图 1. 云边协同全局管理平台框架图

华为云基于 KubeEdge 构建的智能边缘平台 IEF，能够在云端对边缘应用全生命周期进行管理，支持海量边缘节点接入，并在云端进行管理、监控和运维；阿里云物联网边缘计算服务具备通过云端控制台对边缘节点进行统一管理的能力，实现对边缘应用、终端设备、告警事件、远程服务等进行管理控制，支持对云端与边缘节点之间的资源和配置进行同步。中移苏研智能边缘服务平台 E-EISP 能够支持多种异构硬件接入，提供边缘业务高可靠性机制，保证应用数据安全传输至云端，解决边缘节点按需接入、云边数据互传联动等问题。

（三）发展态势：全局智能协同管理成为云边协同管理演进方向

云边协同应用场景越来越丰富，场景内容越来越复杂，要求云边协同全局管理能够快速反应，快速部署，获得最优的业务体验，全局智能协同管理将会是未来云边协同管理的演进方向。利用容器、微服务等技术快速部署和升级应用，并对边缘应用进行管理和运维；通过

云端训练-边缘推理的模式实现云边协同的 AI 处理，支持多种模型发布、更新、推进，形成完整的模型闭环；提供边缘业务高可靠性机制，保证边缘节点应用数据安全传输到云端。

三、云原生技术向边缘下沉，边缘容器加速云边协同发展

（一）整体背景：轻量灵活的容器技术天然匹配边缘场景需求

在工业、能源、交通等典型行业的云边协同应用场景下，往往面临海量设备接入、边缘资源受限、资源严重异构、网络通信质量不稳定、统一运维管理复杂、安全风险控制难度高等主要挑战，阻碍了云边协同生态和产业的发展。将容器技术从云端下沉到边缘侧，为上述诸多挑战提供了解决思路：容器技术相较于传统部署模式的物理机和虚拟机，具备轻量化、部署简单、规范统一、多环境兼容、快速启动、易扩容易迁移等显著特点，为应对当前边缘环境资源紧张、边缘设备异构严重、服务管理需求复杂等问题提供了最佳解决方案。

（二）技术洞察：边缘容器产品普遍呈现“青出于蓝而胜于蓝”样貌

Kubernetes 作为目前最主流的容器编排调度解决方案，在云端环境下已经得到了广泛验证，权威性毋庸置疑。然而，Kubernetes 原意是针对集中式资源场景而设计，直接照搬到资源受限、环境不稳定的边缘侧明显行不通。因此，各边缘容器服务商在重视对原生 Kubernetes 无侵入性的同时，各显神通叠加自己的能力，以尽量少的

改动使原生 Kubernetes 支持边缘侧应用场景。

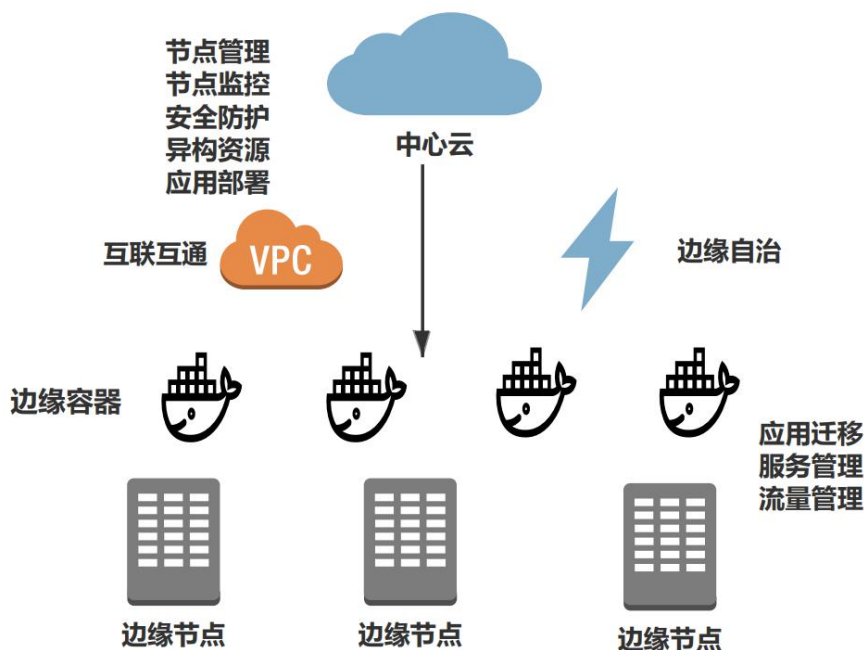


图 2. 边缘容器典型部署场景

阿里云边缘容器服务 ACK@Edge 在原生 Kubernetes 的基础之上，增强了诸如边缘自治、边缘单元化管理、边缘流量拓扑、边缘算力状态监测等能力，同时在云边通信通道中增加多链路热备、安全加密通道等方案，保障边缘节点和云边通信的高可靠性；腾讯云边缘容器服务 TKE Edge 针对边缘计算场景，基于 Kubernetes 原生能力，在单集群节点跨地域部署、边缘节点自治、边缘节点健康监测、内网穿透等方面进行补强。

（三）发展态势：更轻部署、软硬一体化、新兴技术融合

随着云原生技术、边缘物理设备等软硬件技术架构的持续升级发展，边缘容器将迎来全新升级发展：伴随云原生能力不断从云端向边缘侧下沉，边缘容器将进一步与 Serverless 等技术相结合，根据用户

在不同业务场景中对容器编排和函数计算的不同需求，在边缘侧按需为用户提供“边缘容器+Serverless”的融合服务；边缘容器一体机通过软硬一体化的模式，将高性能物理设备的计算能力和边缘容器的管控调度能力有机结合，为智慧交通、智慧城市、智能制造等场景提供近场级别的高效边缘计算服务；通过边缘容器承载人工智能、区块链等新兴技术应用，在推动边缘容器技术迭代升级的同时，进一步催生全新的融合业务应用模式。

四、云边数据协同分析和处理，有效提升数据使用效率

（一）整体背景：万物互联时代下边缘数据分析处理成为刚需

随着 5G、物联网等技术的发展，当前已经进入了不折不扣的万物互联时代，边缘侧产生的数据量几乎每天都在破纪录地爆炸式增长。根据 IDC 的相关统计数据显示，2020 年全球有超过 500 亿的终端和设备联网，其中全球物联网设备产生的数据总量超过 16ZB，如此庞大的数据量对边缘侧的数据处理能力提出新的要求。此外，伴随智能制造、自动驾驶、云游戏、超高清视频等云边协同场景的逐渐落地，相关业务和应用对于异构设备数据的准确接入采集，海量数据的快速、高效和安全处理提出了更多的需求。

（二）技术洞察：多维技术有效应对边缘数据处理全新挑战

面对各类不同应用场景对边缘数据分析处理提出的全新要求，时序数据库、边缘流数据分析、异构计算等技术可以不同程度上予以回应解决。

1. 时序数据库

边缘侧数据的来源和类型具有多样化的特征，这些数据包括各类传感器采集的时间序列数据、摄像头采集的图片视频数据、车载激光雷达（LiDAR）扫描获取的点云数据等。上述数据大多具有时空属性，构建一个针对边缘时序数据进行处理、分析、存储、管理平台的重要性显而易见。时序数据库 TSDB（Time Series Database）支持时序数据的快速写入和持久化，可以有效解决边缘计算场景下海量时序数据写入、读取和存储成本等问题和挑战，是打通 IT 与 OT 领域数据链路，开展异构时序数据边缘侧处理分析的重要支撑。

Rank			DBMS	Database Model	Score		
May 2021	Apr 2021	May 2020			May 2021	Apr 2021	May 2020
1.	1.	1.	InfluxDB +	Time Series, Multi-model	27.17	+0.62	+6.25
2.	2.	2.	Kdb+ +	Time Series, Multi-model	8.26	+0.41	+2.89
3.	3.	3.	Prometheus	Time Series	5.76	+0.03	+1.45
4.	4.	4.	Graphite	Time Series	4.56	+0.03	+1.10
5.	5.	↑8.	TimescaleDB +	Time Series, Multi-model	2.90	+0.13	+1.13
6.	↑7.	6.	Apache Druid	Multi-model	2.67	+0.04	+0.76
7.	↓6.	↓5.	RRDtool	Time Series	2.46	-0.25	-0.06
8.	8.	↓7.	OpenTSDB	Time Series	1.80	+0.05	-0.01
9.	9.	9.	Fauna +	Multi-model	1.49	-0.03	+0.54
10.	10.	↑11.	GridDB +	Time Series, Multi-model	1.03	+0.05	+0.59
11.	11.	↑13.	DolphinDB	Time Series	0.90	+0.06	+0.50
12.	12.	↑14.	eXtremeDB +	Multi-model	0.77	+0.01	+0.39
13.	13.	↓10.	KairosDB	Time Series	0.71	-0.02	+0.14
14.	14.	↑15.	Amazon Timestream	Time Series	0.57	-0.05	+0.20
15.	15.	↑21.	QuestDB +	Time Series, Multi-model	0.45	+0.04	+0.28

图 3. DB-Engines Ranking 中时序数据库排名情况（2021.05 数据）

2. 流式数据处理

所谓流式数据是指一组顺序、大量、快速、连续的数据序列，一般情况下流数据可被视为一个随时间延续而无限增长的动态数据集。物联网场景下的边缘计算很大一部分是指在边缘侧进行流式数据的处理，流式数据在边缘侧的快速采集、清洗、加工、处理，可以快

速响应物联网设备产生的事件和不断变化的边缘业务需求，帮助用户实时了解终端系统设备的状态，并对异常情况作出快速响应。

3. 协议转换、数据预处理等技术

基于 OPC UA 协议设计边缘控制器、边缘网关等设备，可将各种现场设备、装置所采用的私有通信协议转化成标准化 OPC UA 协议，实现异构设备的接入和数据采集；通过轻量级计算框架和相关算法，在边缘侧对数据进行清洗、格式转换等预处理操作，在边缘侧产生的海量数据中有效剔除冗余数据，减轻上传至云端的数据量级，降低云平台负载和传输带宽压力。

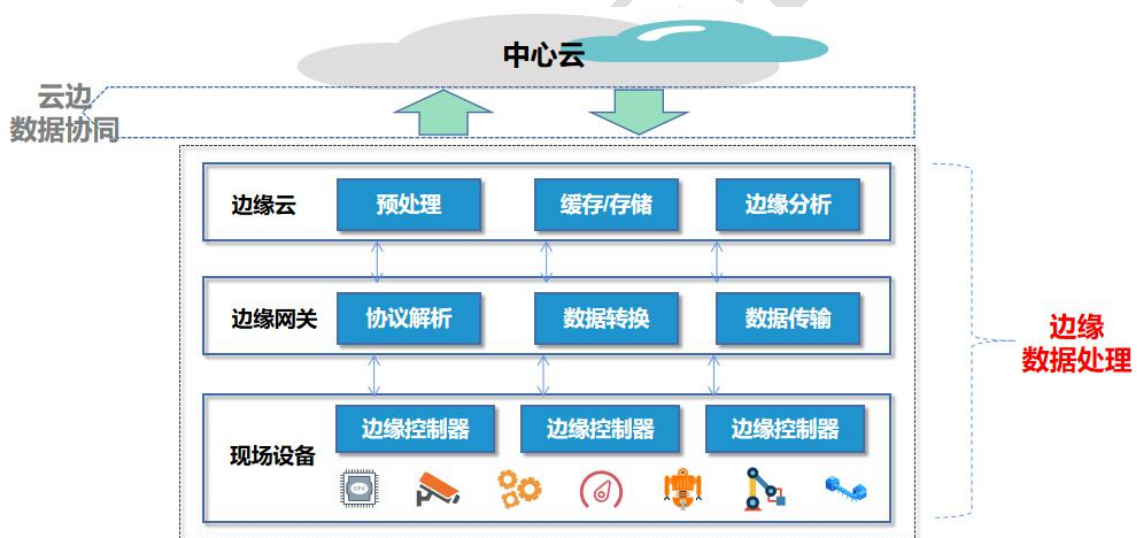


图 4. 边缘数据分析处理架构示意

（三）发展态势：融合深度学习的智能分析将进一步提升数据应用效果

边缘设备时刻都在产生海量的数据，随着数据量越来越大、数据种类越来越丰富，传统的“数据采集-数据预处理-数据分析”三板斧已经无法满足各类应用场景对边缘数据处理在准确性、安全性、及时

性等方面越来越严苛的要求。融合机器学习、深度学习技术的“云端训练+边缘推理”智能边缘数据分析是大势所趋：边缘侧采集海量数据后，在本地进行清洗预处理后上传至云端，借助云端强大的算力进行 AI 模型训练；云端在完成训练后将模型下发至边缘侧用于本地智能推理决策，提升边缘侧数据分析处理的准确性和效率，保障训练数据集的精准采集和数据预处理质量，从而形成良性循环，进一步提升数据应用效果。

五、人工智能与边缘计算逐步融合，边缘智能成为核心应用

（一）整体背景：AI 能力逐步下沉，边缘智能应运而生

受益于算法、算力和数据集等方面的发展，人工智能技术得到了突飞猛进的发展，在安防、交通、工业、农业等各行业得到广泛应用。随着 5G、物联网时代的到来，为借助边缘侧数据采集便利、实时处理计算等特点，人工智能技术逐步从中心云向边缘下沉，通过将模型在边缘和云端进行协同推理和训练，解决人工智能落地“最后一公里”问题，边缘智能应运而生，得到了学术界和产业界的高度关注。

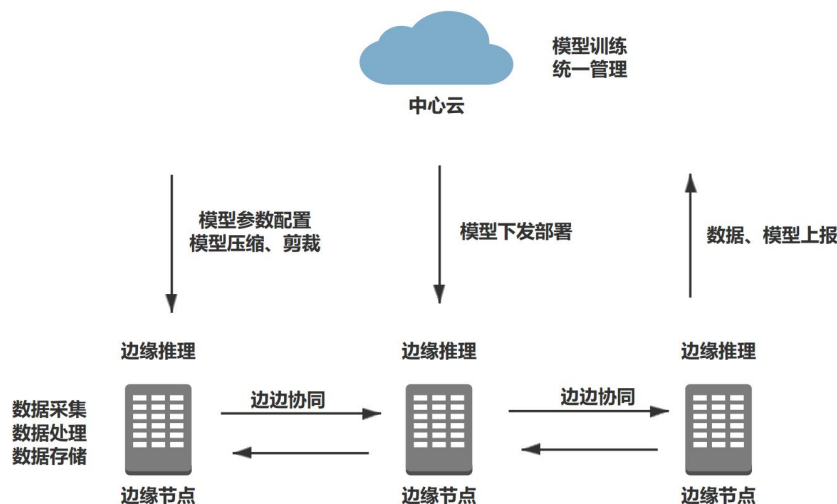


图 5. 边缘智能服务模型

（二）技术洞察：边缘智能技术体系初露头角

目前，边缘智能主要技术涉及协同推理、增量学习、联邦学习、模型分割与剪裁、安全隐私保护等。



图 6. 边缘智能通用技术架构模型

1. 协同推理

在边侧资源受限条件下，中心云与边缘节点可以通过协同推理提

升整体推理性能。协同推理能力支持在边缘节点部署浅层模型，在中心云部署深层模型，推理请求首先由边缘节点的浅层模型处理，如果处理置信度较高，则直接返回推理结果，否则发送到边缘节点管理平台由深层模型处理。

2. 模型分割与剪裁

切割训练模型是一种边缘服务器和终端设备协同训练的方法，核心思路是将计算量大的任务卸载到边缘端服务器进行计算，而计算量小的计算任务则保留在终端设备本地进行计算。这种终端设备与边缘服务器协同推断的方法能有效地降低深度学习模型的推断时延。然而，这种技术的挑战在于不同的模型切分点将导致不同的计算时间，需要选择最佳的模型切分点，以最大化地发挥终端与边缘协同的优势。

为了减少边缘模型训练和推理对计算、存储等能力的需求，裁剪训练模型成为了新的技术热点方向。模型剪裁在不影响准确度要求的情况下丢弃非必要数据、稀疏代价函数等，尽可能压缩、裁剪边缘侧训练和推理模型，减少边缘侧资源紧张的压力。

3. 增量学习

AI 模型训练的样本主要来自于边缘侧的数据采集，中心云与边缘节点相互配合，通过增量学习可以提高模型准确度。在边缘节点部署模型运行推理后，自动识别推理结果置信度低的样本，发送到中心云，由人工或其他系统辅助标注样本，再重新增量训练模型。经过增量训练的模型如果比原模型在准确度方面有显著提升，可以部署到边缘节点更新原模型。

4. 联邦学习

在边缘侧，尤其是企业用户的生产现场，对数据安全与保密的要求往往很高。通过联邦学习可以利用这些数据进行模型训练，同时又保证原始数据不出边缘，实现数据安全的保护。联邦学习可以通过参数聚合产生模型，多个边缘并行进行一轮本地训练，产生中间的模型参数（如梯度），上传参数到云上，云上对各个边缘的参数进行聚合（如加权平均），再将聚合后参数下发到边缘节点，边缘节点根据聚合后的参数，结合本地样本进行下一轮本地训练。如此迭代多轮，直到模型收敛。

（三）发展趋势：技术融合推动边缘智能迈向新发展阶段

边缘智能处于产业发展的初期，仍面临边缘节点异构、边缘资源受限、边缘数据异构、数据样本少、安全与隐私等诸多挑战。目前大多数落地应用以在边缘侧部署智能应用为主，缺乏统一任务管理、配置管理、数据管理等通用组件和平台，阻碍大规模边缘智能应用开发和部署，亟需与容器编排、AI 硬件芯片、算法框架等技术融合发展。未来，学术和产业界将进一步在算法模型、开发框架、平台能力、安全隐私保护、云边协同等方面进行深入研究，将多种技术能力与边缘智能相融合，进一步推动产业落地发展。

六、MEC 从概念走向落地，加速 5G 时代边缘计算发展

（一）整体背景：MEC 成为 5G 网络边缘侧部署的最优选择

MEC 作为 5G 演进的关键技术，在更靠近客户的移动网络边缘为

边缘应用提供云计算能力和 IT 服务环境，具备超低时延、超大带宽、本地化、高实时性分析处理等特点。一方面，MEC 边缘云系统部署在网络边缘位置，边缘服务在终端设备上运行，反馈更迅速，解决了时延问题；另一方面，MEC 将内容与计算能力下沉，提供智能化的流量调度，将业务本地分流，内容本地缓存，使得部分区域性业务能够在本地终结，既提升了用户的业务体验，也减少了对骨干传输网以及上层核心网的资源占用。因此在 5G 时代，MEC 将是 5G 网络边缘云部署的最佳选择。

（二）技术洞察：MEC 边缘云技术能力逐渐清晰

目前，MEC 边缘云主要技术能力涉及基础设施能力、网络能力、云网能力、协同能力、安全能力、边缘云统一管理平台、服务保障等方面。

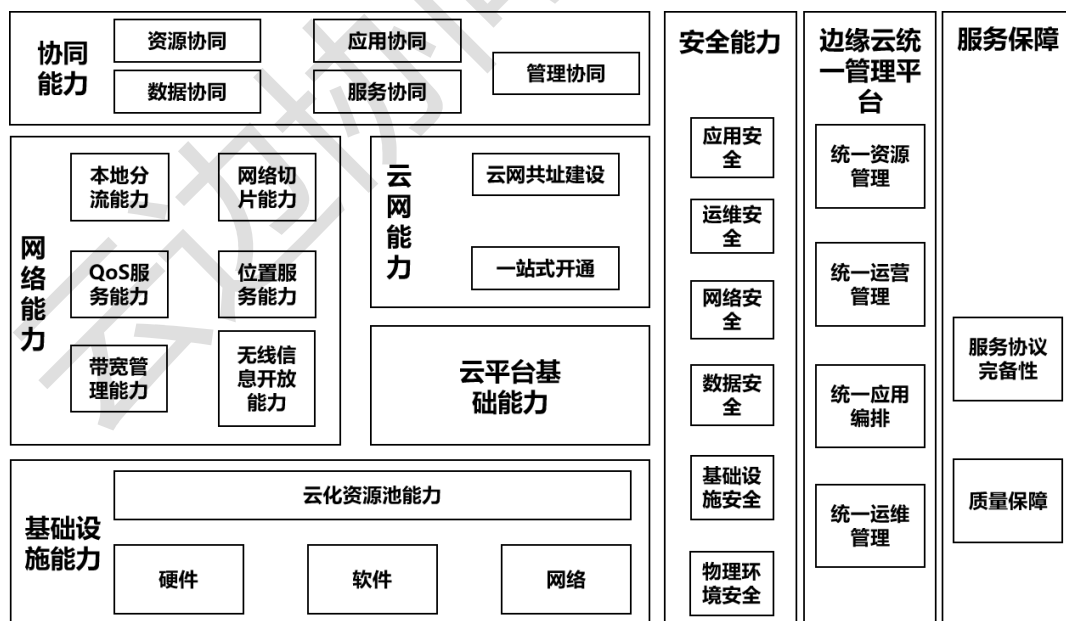


图 7. MEC 边缘云能力架构图

1. 基础设施能力

基础设施能力关注 MEC 底层基础设施提供的硬件、软件、网络

能力,以及云化资源池的能力。基础设施需要支持多种异构硬件设备,支持多种软件部署,并通过网络硬件实现信令收发、业务流量转发、路由控制等功能,同时具备虚拟机资源池、容器资源池等云化资源池的能力。

2. 网络能力

MEC 边缘云平台在部署时将与 5G 网络架构深度融合,通过将 UPF 部署到 MEC 边缘云,SMF 在中心云集中部署或部署在 MEC 边缘云,使 MEC 边缘云具备相关能力。包括本地分流、位置服务、QoS 服务、网络切片、无线信息开放、带宽管理等能力。

3. 云网能力

云网能力体现在两方面:一是云网共址建设,支持在运营商机房或运营商网络边缘云环境中建设;二是一站式开通能力,支持解析多种形态应用包,将其中的通信网络要求、IaaS 资源要求、依赖的 PaaS 服务和应用要求分别进行分解,并分别组织成调度任务,再分别开通。

4. 协同能力

协同能力从资源协同、数据协同、服务协同、应用协同、管理协同等方面保证中心云与 MEC 边缘云之间的各种协同,实现能力的协同互补。

5. 安全能力

安全能力从物理环境安全、数据安全、应用安全、网络安全、运维安全等方面全方位保障 MEC 边缘云的安全。同时,安全能力还涵盖基础设施从启动到运行整个过程中的硬件安全、虚拟化安全、容器

安全、系统安全、接入安全等方面。

6. 边缘云统一管理平台

MEC 边缘云通过搭建统一管理平台，对各边缘计算节点的资源、运营、第三方应用编排、VIM 运维等方面进行统一管理。

（三）发展态势：MEC 边缘云各参与方融合发展

未来，MEC 各参与方将利用自身优势，融合各方能力，共同打造完整的 MEC 边缘云能力。电信运营商将 MEC 平台的存储、计算能力开放给应用开发商和内容提供商，为他们提供全新的业务开发环境及用户体验。电信运营商也可以将无线侧 eNB 信息封装成各种服务（例如 RNIS、位置服务、带宽管理服务）运行在 MEC 平台之上，开放给企业和垂直行业使用，从而提供更多的增值服务，实现网络价值的最大化。互联网厂商借助云计算成熟的资源池化和管理技术，将云边缘基础设施、分布式计算资源、移动网络边缘和智能终端等互联网侧计算资源进行统一化管理，达到屏蔽底层异构特性，降低互联网应用接入边缘资源门槛，对外输出标准的多级加速能力。同时，互联网厂商可以和电信运营商进行 MEC 能力共建和调用，包括 MEC 平台基本能力、网络能力 API、以及编解码、加解密等各种加速技术，打造兼容互联网边缘计算应用需求和电信 MEC 功能的开放平台。

七、安全防护边界不断延伸，云边一体化安全体系成为重要保障

（一）整体背景：服务向边缘侧延展引入全新安全防护需求

随着边缘计算的兴起，传统中心云遇到的安全问题正逐步向网络边缘侧延伸。如何提供跨云计算和边缘计算的纵深安全防护体系，增强边缘基础设施安全、网络安全、应用安全、数据安全，以及抵抗各种安全威胁的能力，构架系统化、结构化的安全防护架构，是保障云计算和边缘计算产业协同发展的必要条件。

（二）技术洞察：全方位安全能力筑牢云边协同防护屏障

在异构边缘设备接入、海量边缘数据汇聚、云边通信协议多样化、云边弱网环境等特征背景下，应重点从边缘节点安全、边缘网络安全、边缘数据安全、边缘应用安全等维度发力，建设全方位的云边协同安全防护架构能力。



图 8. 云边协同安全体系架构

1. 边缘节点安全

边缘节点安全关注海量边缘节点接入场景下，边缘节点和终端的接入认证、边缘节点身份标识和鉴别以及基础设施完整性校验，同时针对边缘异构场景，增强虚拟化安全、操作系统安全、边缘网关、边

缘控制器、边缘服务器虚拟化隔离、安全增强及底层操作系统安全等能力。

2. 边缘网络安全

边缘网络安全从边缘节点多协议接入、安全协议能力，海量接入场景下的抗 DDoS 网络防护能力、网络监测能力、网络域隔离能力等方面进行能力构建。同时，进一步针对云边管理通道传输安全和云边应用数据传输安全进行管控，就传输通道的安全加密、安全运行监管、管理中断边缘自治、数据安全检测等能力进行安全管控。

3. 边缘数据安全

边缘数据安全保障数据在边缘节点存储以及在复杂异构的边缘网络环境中传输的安全性。针对边缘计算服务模式的复杂性、实时性，数据多源异构性，终端资源受限性，边缘数据安全能力提供轻量级数据加密、数据安全存储、敏感数据处理和敏感数据监测等关键技术能力，保障数据的产生、采集、流转、存储、处理、使用、分享、销毁等环节的全生命周期安全，实现边缘计算设备共享数据、采集数据、位置隐私数据等隐私保护。

4. 边缘应用安全

边缘应用安全重点就边缘应用在开发、上线、管理、运维等全生命周期的安全，通过应用隔离、APP 加固、权限和访问控制、接口安全管理、应用监控、应用审计、漏洞检测等安全防护措施，提升边缘侧应用和平台的安全可靠性。

5. 云边协同安全

云边协同安全通过云边之间的数据协同、服务协同等协同能力，基于云端的安全防护管控能力，对边缘侧进行统一的监测、安全策略编排、密钥口令下发管理、认证权限双向同步、资源访问权限管理等操作，提升统一安全管控能力。

（三）发展态势：“零信任”时代需更加精细化的安全体系

“零信任”时代，云边协同由于其天然的分布式场景模式，应通过更加精细化、纵深化的安全体系架构，保障终端、边缘、链路和访问控制等各维度的安全：通过结合边缘流数据采集、大数据分析、人工智能等技术，深度挖掘数据价值，辅助云边威胁情报、安全态势感知等安全手段精准施效；通过分布式防火墙、安全管理编排、安全运行监管以及应急响应恢复等机制，实现边缘安全的事前、事中、事后全生命周期防御；通过将安全与业务解耦，在边缘侧采用独立于边缘应用的安全策略库和访问控制引擎等手段，细化边缘服务接口，最小化访问控制粒度，以实现精细化的云边安全防护。

八、边缘物理设备技术成熟，加速构建场景化边缘基础设施

（一）整体背景：边缘物理设备成为云边协同向用户侧拓展的新风口

伴随着物联网的高速发展，为了解决对事件分析和处理的实时性要求，以及B端企业数据安全性的考虑，通过将云端能力下沉，提供CPU、GPU、多媒体等能力，边缘物理设备越来越多地承担起云-端之

间连接桥梁的作用。越来越多的云服务商和终端设备厂商开始瞄准边缘物理设备这个新风口，推出多种类型的边缘物理设备，并与云端进行协同，利用边缘物理设备更加靠近用户的特点，在用户现场提供云计算服务。

表 3. 部分边缘物理设备

序号	设备名称	厂商	类型
1	ICP Edge 边缘云一体机	浪潮	超融合边缘一体机
2	Ecrack-天翼边缘小站	天翼云	超融合边缘一体机
3	Harmony EdgeBox Pro	谐云科技	轻量级边缘一体机
4	LE-V 系列和 LE-A 系列	阿里	轻量化边缘一体机
5	Atlas 500 Pro	华为	边缘服务器
6	EdgeBoard	百度	边缘服务器
7	Edge Intelligence Server	研华科技	边缘服务器

（二）技术洞察：多样的边缘物理设备解决不同应用场景的基础设施建设

设备芯片、边缘服务器、边缘一体机等多样化的边缘物理设备助力不同应用场景中的基础设施建设。

1. 设备芯片

边缘设备、边缘基础设施硬件目前主要的芯片以传统 x86、ARM 架构为主导，但针对边缘侧不同业务应用场景存在的多样性需求，进而催生多样化、灵活的异构计算发展模式。

目前，在设备边缘，传统终端企业提供定制化 SoC（系统级芯片）协助完成智能化操作，在基础设施边缘，高性能计算芯片、AI 加速硬件设备的发展使企业能够建立体积更小、成本更低、功耗更少、热量更少的边缘基础设施，执行处理器密集型人工智能计算，通过软硬

协同的方式完成计算、存储等工作，减少或消除了将大量数据发送至远程位置的需要，极大提升了边缘侧的数据处理能力，同时保障数据的安全性和私密性。

2. 边缘服务器

边缘服务器可以部署在视频、CDN 等边缘数据中心场景中，也可以部署在社区、景点等没有机房和机柜的场景中，能够适应复杂多变的边缘环境。

(1) 业务应用方面，边缘服务器能够满足不同用户对服务器性能、时钟与同步精度异构兼容等方面的要求。

(2) 边缘机房环境方面，由于边缘机房在机架空间、机房承重、温湿度环境等方面的限制，具备体积小巧、便捷灵活、防震、防尘、放水溅等特性的边缘服务器具备很大优势。

(3) 运维管理方面，边缘服务器具备统一完善的管理接口，能够提升运维操作效率，降低运维人员压力，同时管理和运维平台具备基本故障诊断及上报能力及边缘自治能力。

2017 年 11 月，面向电信应用的开放电信 IT 基础设施项目——OTII (Open Telecom IT Infrastructure) 成立，目标是定制面向 5G 及边缘计算的深度定制、开放标准、统一规范的服务器方案及产品。其指定的 OTII 边缘服务器规范从配置规格及关键部件要求、物理形态、供电及环境适应性等方面都提出来规范要求。目前浪潮、曙光、新华三、联想、仁宝等都基于上述标准规范，推出了 OTII 服务器产品。

3. 边缘一体机

在边缘侧部署环境分散、业务需求各异的情况下，边缘高性能服务器趋于将计算、存储、网络、虚拟化、容器编排、统一管理 etc 能力集成到一个机柜进行统一交付。

根据不同形态和功能要求，边缘一体机可分为轻量级、超融合等类别：轻量级边缘一体机具备轻巧便携、灵活部署、环境适应性强等特点，提供近场或现场级边缘计算服务；超融合边缘一体机更侧重安装部署在区域级数据中心或本地机房，通过内置多个计算、存储、网络节点提供高性能边缘计算服务。

边缘一体机具备云端统一管理和运维、边缘自治、边缘智能、高可靠、安全 etc 能力，可以根据业务需求进行定制化软硬件配置，具有数据本地化、超低延时、敏捷部署为主的特点，将计算能力下沉的同时最大程度保障数据安全。

（三）发展态势：面向应用场景加速构建边缘基础设施

针对愈发个性化的边缘场景化需求，边缘设备服务商从多方面提升能力，打造面向场景服务的边缘基础设施。一方面，从计算能力上，边缘计算专用芯片在架构复杂度、支持 AI 算法多样化多场景适应性上将不断创新，处理器供应商正在努力添加专门的指令（VNNI, Bfloat16 等）以便能够更好地处理混合精度算法并优化 AI 性能，支撑边缘高性能计算和边缘智能进一步在应用场景中落地。另一方面，针对不同的应用场景，例如交通、视频监控、水利、社区、工业互联网等，各服务商着力提升边缘物理设备的定制化能力，打造包括边缘微服务器、边缘 AI 服务器、边缘一体机、边缘微数据中心在内的全

方位边缘基础设施。

九、开源边缘计算平台百家争鸣，加速整合碎片化生态

（一）整体背景：开源路线是推进边缘计算产业壮大的优选

近年来，开源技术快速发展，纷繁多样的开源项目和相关生态已经覆盖包括云计算、大数据、人工智能等在内的各类新兴技术领域。尤其在当前日渐复杂的国际形势背景下，开源技术俨然已经成为各行业企业融合新一代数字化技术，推进数字化转型升级的重要选择甚至是必然选择。对边缘计算领域而言，在当前相关技术、生态、产业尚未完全成熟的情况下，以开源框架的形式聚集产业各方力量，吸纳广大从业者参与到相关技术、平台、社区、生态的研究和运营工作中来，将有力推动边缘计算技术快速发展，推进相关应用场景规模化落地，加速边缘计算产业规模壮大。

（二）技术洞察：主流边缘计算玩家全面拥抱开源

在认清开源对推进技术发展、壮大产业规模的催化作用之后，主流玩家纷纷将原有的商业边缘计算服务进行开源，通过相关基金会、社区的运营，拓展更多合作伙伴，通过在更多应用场景、部署环境下的应用，广泛适配异构软硬件环境，一方面可以加速推进开源项目、社区的发展，另一方面可以反哺自己的商业版本软件更快地迭代升级，进一步拓展各自生态圈。

表 4. 部分边缘计算开源项目

序号	项目	开源方	基金会	开源时间
1	EdgeX Foundry	/	LF Edge	2017 年

2	Baetyl(原 OpenEdge)	百度	LF Edge	2018 年
3	StarlingX	Intel、WindRiver	OpenStack	2018 年
4	KubeEdge	华为	CNCF	2019 年
5	K3S	Rancher Labs	CNCF	2019 年
6	OpenYurt	阿里	CNCF	2020 年
7	SuperEdge	腾讯、Intel 等	/	2020 年

在众多开源项目中，不乏我国相关服务商主导的开源项目，各家优势、发力方向各有不同，用百家争鸣、百花齐放来形容不为过。

1. KubeEdge

KubeEdge 是华为基于 Kubernetes 构建并开源的边缘计算平台，是 CNCF 首个提供边缘计算能力的开源项目。KubeEdge 架构上包含云端和边缘侧两部分，云端负责相关应用和管理配置命令的下发，即管理面运行在云端，边缘侧则采用“轻边缘”架构，仅负责管理端侧设备接入和运行边缘应用程序。KubeEdge 目前已发布至 v1.4 版本。

2. OpenYurt

OpenYurt 是阿里基于“云边一体化”概念设计的开源边缘计算平台。项目依托原生 Kubernetes，实现完整的边缘计算基础设施架构。从架构上，OpenYurt 最大限度保证对原生 Kubernetes 无侵入，提供一键式转换原生 Kubernetes 为 OpenYurt 的功能，让原生 Kubernetes 集群快速具备边缘集群管理能力。OpenYurt 目前已经发布至 v0.40 版本。

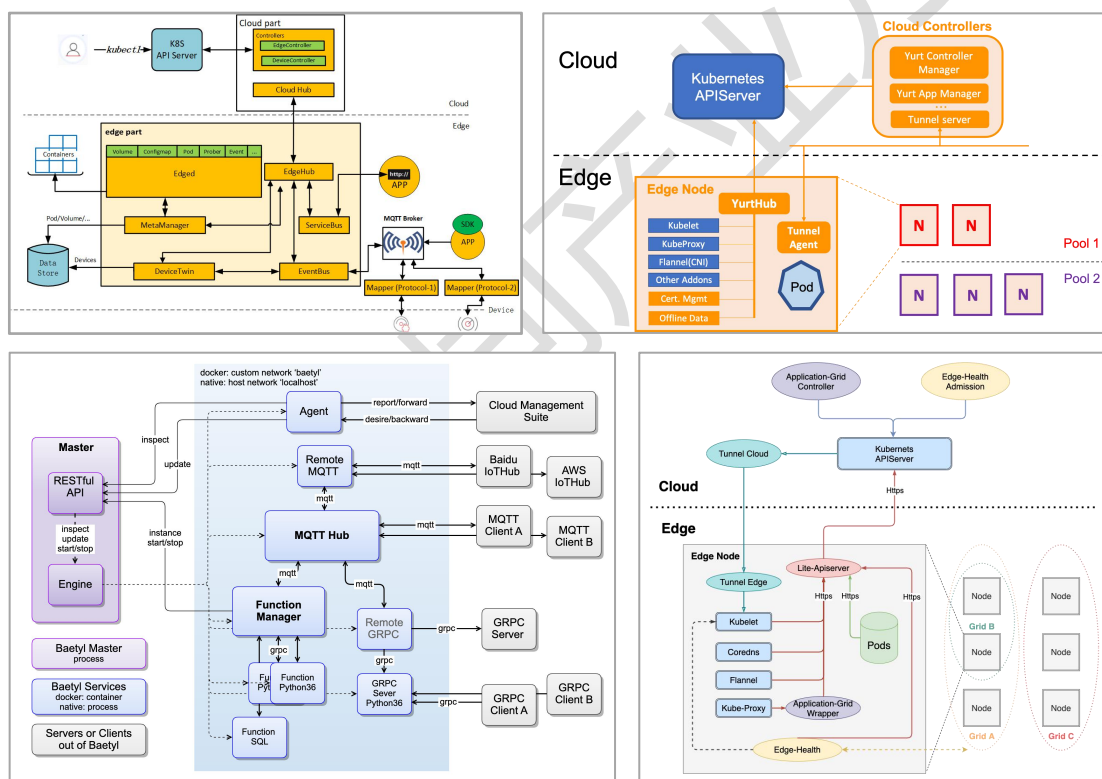
3. Baetyl（原 OpenEdge）

Baetyl 是百度开源的边缘计算框架，通过模块化、容器化的架构设计，各模块可以独立运行并相互隔离，开发者可按需选择部署相应

模块。目前最新发布 Baetyl v2.0 版本重点面向云边协同场景，采用云端管理、边缘运行的方案，分成云端管理套件和边缘计算框架两部分，支持多种部署方式。

4. SuperEdge

SuperEdge 是由腾讯云联合 Intel、VMware、虎牙、寒武纪、美团、首都在线联合发布的边缘容器开源项目，原生兼容支持 Kubernetes 所有的资源类型、API 接口、使用方式、运维工具。SuperEdge 目前已发布 v0.2 版本。



KubeEdge (左上)、OpenYurt (右上)、Baetyl (左下)、SuperEdge (右下)
图 9. 部分开源项目技术架构

(三) 发展态势：兼容 Kubernetes 成各开源架构演进趋势

从各大主流边缘计算开源项目的发展演进路线来看，兼容 Kubernetes 以实现云边协同成为主流趋势。以 Kubernetes 为主的容

器编排技术框架,可以通过构建云边数据通道,对应用进行统一分发、管理和升级,有效支持分布式计算、边缘自治、负载均衡等云边协同、边边协同场景下的业务需求。KubeEdge、K3S 等基于 Kubernetes 的边缘计算开源项目,原生支持容器的调度和编排操作。StarlingX、OpenYurt、Baetyl 等项目,在其后续相关版本更新迭代中,也纷纷加强对容器编排技术的更新支持。各开源边缘计算项目借由以 Kubernetes 为主的容器调度编排技术,有效解决目前碎片化和架构不一致的问题,使得应用可以便捷、快速、更大规模地在边缘侧进行部署,并通过云端进行协同调度。

云边协同产业方阵

云计算开源产业联盟

2021 年 6 月