

云原生泛在算力调度研究报告

(2022 年)

算网融合产业及标准推进委员会

2022年12月

版权声明

本白皮书版权属于算网融合产业及标准推进委员会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：算网融合产业及标准推进委员会”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。



参与编写单位（排名不分先后）

中国移动通信有限公司研究院、浪潮通信技术有限公司、亚信科技（中国）有限公司、中移（杭州）信息技术有限公司

主要撰稿人（排名不分先后）

丁韩宇、陈燕军、王紫程、王晔彤、赵志月、林靖雨、杨剑青、王建、黄裕耿、张帅

前 言

从云计算到边缘计算再到泛在算力，随着数据处理不断向边端扩散，计算模式也正在向着云-边-端多级部署、高度协同的泛在架构发展，以满足行业数字化转型多样化数据处理需求。为实现算力资源的合理规划和应用的精准调度，跨地域、跨云泛在算力协同调度能力成为关键，也是实现“算力无所不在”愿景的关键抓手之一。而随着云计算技术的进步以及企业业务上云的增多，云原生如今也是企业上云实现降本增效的关键所在，能够帮助客户提升计算效能、降低计算成本，进一步助力产业和社会价值的持续释放。

本研究报告系统性的阐释了云原生泛在调度技术的产生背景、关键技术能力、开源方案现状、典型业务需求与场景、产业实践成果等，旨在进一步推动云原生泛在算力调度技术的成熟，凝聚产业共识，呼吁并联合产学研用各界共同推动云原生泛在算力调度技术的成熟演进。

目 录

一、 背景	1
二、 云原生泛在算力调度的关键技术能力	2
三、 云原生泛在算力调度业界开源方案	5
(一) 多云调度	5
(二) 云边端协同	7
(三) 容器批量计算	8
四、 典型业务需求与应用场景	9
(一) 数据安全合规需求	9
(二) 跨域、跨云的云资源统一纳管需求	10
(三) 云边端协同需求	12
五、 当前业界实践	13
(一) UCS (Ubiquitous Cloud Native Service)产品	14
(二) 谷歌 Anthos 产品	15
(三) 算力网络 (CFN) 泛在算力调度 Akraino 蓝图项目	15
六、 展望	16
参考文献	18

图 目 录

图 1	OCM 架构示意图.....	6
图 2	Karmada 系统架构.....	7
图 3	KubeEdge 系统架构.....	8
图 4	volcano 系统架构.....	9
图 5	泛在算力赋能社会.....	11
图 6	UCS 产品功能示意图.....	14
图 7	Anthos 产品功能示意图.....	15
图 8	算力网络泛在算力调度示意图.....	16

一、背景

互联网、大数据、云计算、人工智能、区块链等技术创新，加速了数字经济的发展。数字经济的发展以及万物互联互通带来海量数据的计算、连接、存储、处理等需求，为了应对不同类别的算力需求，包含终端、边缘云和中心云三级的算力体系逐渐形成。在此背景下，算力的多样泛在与多要素融合等成为两大重要趋势。

1、要素融合互促

算力将成为多技术融合、多领域协同的重要载体。算力内核的极致化和专用化（如GPU/DPU）推动了人工智能、大数据、区块链等技术的性能不断提升。行业数字化转型也需要综合应用组合技术创新。如区块链解决了多方数据可信的问题，大数据为人工智能提供了海量的训练集，人工智能提升了区块链的效率等。人工智能、大数据、区块链等技术的融合和跨领域协同，进一步提升算力服务的智能化水平、可信交易能力，推动算力服务向纵深发展。

2、算力多样泛在

算力呈现出内核多样化、分布泛在化的趋势。除了通用计算外，高性能计算、智能计算的出现，算力内核不断向GPU、FPGA和NPU等异构化方向发展。近年来，随着物联网、边缘计算的繁荣发展，海量终端接入网络，算力逐渐向边缘侧和端侧延伸，边缘算力逐渐丰富。算力整体上呈现云边端三级架构，具备云算力超集中、边端算力超分布的特征。

在此背景下，随着算力与多技术、多领域的融合与协同，内核多样化与分布泛在化的趋势，各级算力节点就像是电力系统中的大、小电厂，缺少有效的网络设施和调度机制将各级算力灵活调动，为算力资源的消费者提供高效服务。例如算力基础设施一般由公有云、边缘云以及第三方云等多种类型资源构成，在如何屏蔽云平台差异的情况下提供统一的算力纳管、交易与供给能力，如何跨域、跨多云提供商精准获取底层异构算力资源信息，大规模的多云基础设施和跨域、跨多云的异构资源调度机制是关键基础。为解决上述挑战，基于云原生技术栈的泛在算力调度技术发挥着关键作用。

二、云原生泛在算力调度的关键技术能力

泛在算力特点包括三方面。第一是物理空间的融通。面向跨区域建设的算力枢纽，以及区域内多层次的算力资源，打造高品质网络基础设施拉通不同区域、不同层级算力资源，构建中国移动集中加边缘的数据中心布局；第二是逻辑空间的融通。为进一步满足业务低时延、数据不出场等需求，算力将呈现云边端的立体泛在分布；第三是异构空间的融通。由于应用对算力专业化的需求越来越高，计算硬件出现了多样化异构形态，算力网络通过构建统一的算网基础设施层，纳管X86、ARM、RISC-V等多样性芯片架构，对外提供CPU、GPU、FPGA等多样性算力的统一供给。

综上，泛在算力调度可实现在算力网络充分吸纳全社会云边端多级泛在的算力资源的基础上，综合考虑网络的实时状态、用户的移动位置、数据流动等要素，实现了对算力资源的统一管理、跨层调配和

应用的敏捷部署、动态调整。用户可在不关心算力形态和位置的情况下，实现对算力资源的随取随用。

云原生泛在算力调度需实现分布式云原生多方算力的纳管和调度策略统一管理，并实现服务流量统一管控、一致性监控运维等能力。具体如：

1、算力资源的统一管理能力

Kubernetes（以下简称“K8s”）正成为未来云环境的标准，支持不同领域下的各种部署方案，并且提供了集群、节点、容器等概览和控制平面来管理。K8s可以与底层异构基础设施一起工作，灵活敏捷地接入和管理企业的各种计算资源，利用以云原生标准交付容器化应用和云服务，通过统一的K8s接口和标准，简化跨不同环境的资源和工作负载的管理。

同时，基于云原生技术栈的多方算力管理原型技术已经引起了业界的广泛关注。对第三方社会算力进行纳管和调度是泛在算力调度研究的关键领域之一。云原生技术栈可屏蔽底层基础设施层的差异性，易于实现跨集群多方算力的配置和调度一致性。多方算力管理需要考虑多方异构资源纳管、全量的资源和服务可视化，弹性伸缩动态感知、灵活策略管理以及多方算力的配置管理体验的一致性等问题。

- ✓ 基于分布式云原生方案管理多K8s算力集群；
- ✓ 支持管理边缘、端侧算力（如一体机、工业网关等）；
- ✓ 统一的集群管理，如支持管理被纳管的算力资源的动态及静态信息及全局集群、节点和资源的关联关系等；
- ✓ 支持所纳管算力资源的统一监控、运维和报警等；

2、全局应用的统一管理能力

- ✓ 支持用户以云原生方式批量部署应用到多个 K8s 集群，如兼容K8s 单集群的污点、亲和、容忍度等节点调度选择属性，支持选择跨集群基础调度模式，如各 K8s 集群副本数量一致、设置 K8s 集群副本权重、聚合调度等；
- ✓ 根据业务需求构建分级仓库，支持应用包和镜像的上传、下载；
- ✓ 根据业务需求支持多种格式应用包，如Helm 格式应用包、TOSCA 格式应用包、镜像包（yaml文件）等的部署；
- ✓ 根据业务需求支持跨集群应用服务的差异化配置，如灰度发布等；
- ✓ 根据业务需求对跨集群的应用服务支持跨集群服务发现。

3、调度策略的统一管理能力

- ✓ 全局跨域应用的相关策略，如为用户提供选择和配置策略的触发条件、执行逻辑等能力；
- ✓ 支持全局策略的配置与更新，支持调度策略与应用实例或资源的配置、绑定、启用、停用等能力；
- ✓ 提供典型策略模型配置方案，如算网时延最低、算网成本最优调度等；
- ✓ 支持全局流量管理（GTM），对跨集群的应用服务通过全局流量管理进行有效的调度配置；

4、跨地域、跨云的服务网格管理能力

在应用跨地域、跨云部署的场景下：

1) 基于业务需求提供云计算资源节点跨集群配置服务网格功能，如支持用户对服务之间请求路由、入口流量、出口流量的策略进行基本操作；

2) 基于业务需求提供精细化的流量路由策略，如支持用户进行灰度发布、熔断、故障注入等场景；

3) 基于业务需求对服务请求量、请求成功率、发送/接收字节数等基本信息进行统计。

三、云原生泛在算力调度业界开源方案

(一) 多云调度

单一集群的负载能力，无法适应现在企业业务的规模，企业趋向于选择混合云或多云架构，绝大多数企业集团正同时使用多个云厂商的服务，因此面临着多云管理的问题。如何高效地整合使用这些不同的云资源，是一个非常值得关注的问题，也是当前部分云原生团队正在尝试解决的问题。

1、OCM (Open Cluster Management)

RedHat和蚂蚁、阿里云共同发起并开源了OCM，2021年7月份向CNCf递交项目孵化申请，11月正式批准为CNCf的沙箱项目。项目基于K8S的多集群、多云管理，简化部署在混合环境下的多Kubernetes集群的管理工作，通过新增集群管理的原语和基础组件实现。

核心组件为Cluster manager (多集群控制面) + Clusterlet agent (负责集群注册、管理等)。Placement API负责调度，调度粒度为一个

或多个集群，通过labelSelector或者ClusterClaims的方式选择集群。

Placement 只选择集群，而不关心如何分发配置和部署应用。

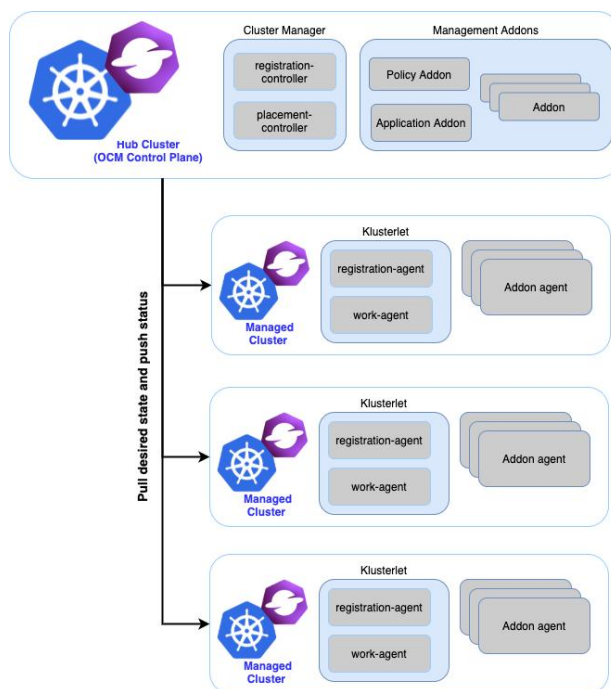


图 1 OCM架构示意图

2、Karmada

Karmada是基于Kubernetes原生API的多集群管理系统。Karmada项目融入华为及工商银行、小红书、中国一汽等各企业在多云管理领域的丰富积累，为开发者提供详实有效的实践指导与帮助。2021年9月15日，云原生计算基金会 CNCF正式接纳由华为云贡献的多云容器编排项目Karmada，是CNCF首个多云容器编排项目。在多云和混合云场景下，Karmada提供可插拔，全自动化管理多集群应用，实现多云集中管理、高可用性、故障恢复和流量调度。

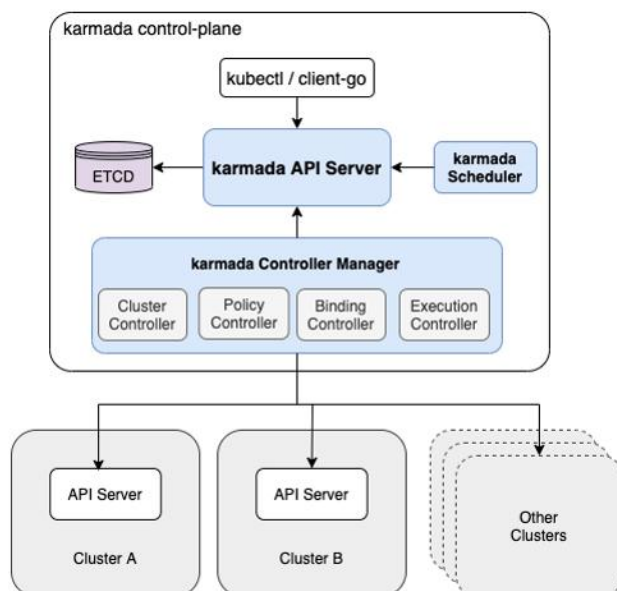


图 2 Karmada系统架构

从整体架构来看，ETCD作为分布式数据库，存储Karmada API对象。Karmada Scheduler提供多集群调度策略，Karmada Controller Manager:负责监听karmada对象，与成员集群的API server进行通信，创建成员集群的k8s对象。

KubeFed 中的大部分功能都在 Karmada 中进行了改造，并兼容 Kubernetes 原生API 。此外，Karmada 还提供了额外的功能，如更强大的调度策略、聚合 Kubernetes API，定制资源解释器、多集群服务发现、多集群入口等。

（二）云边端协同

1、KubeEdge

由华为云于2018年11月开源的云原生边缘计算平台项目 KubeEdge,将Kubernetes原生的容器编排和调度能力拓展到边缘,并为边缘应用部署、云与边缘间的元数据同步、边缘设备管理等提供基础架构支持。KubeEdge于2019年3月正式进入CNCNF成为沙箱级项目

(Sandbox),也成为CNCF首个云原生边缘计算项目,并于2020年9月晋级为孵化项目。

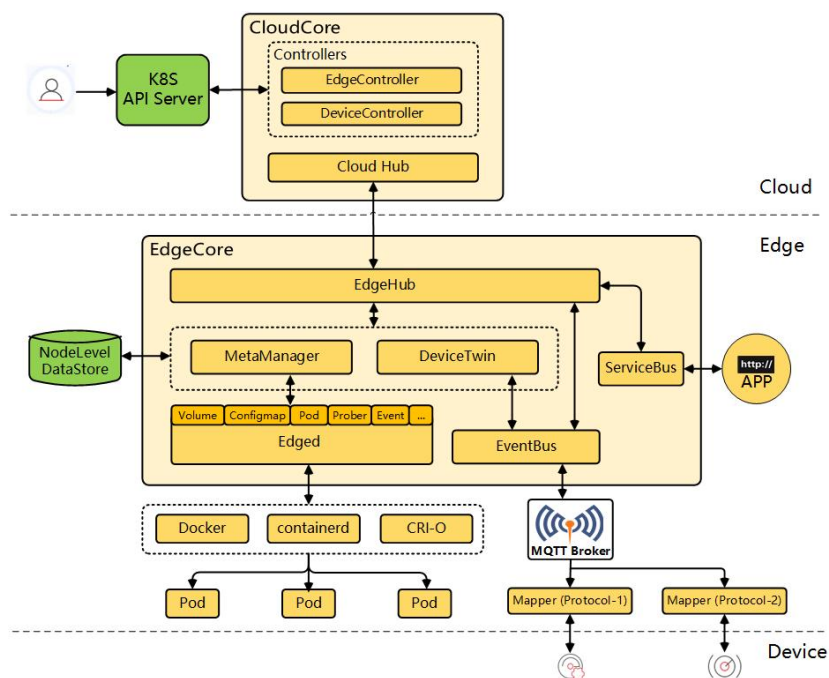


图 3 KubeEdge 系统架构

KubeEdge基于Kubernetes原生的容器编排和调度能力之上,扩展实现了云边协同、计算下沉、海量边缘设备管理、边缘自治等能力,完整的打通了边缘计算中云、边、设备协同的场景。目前已广泛应用智能交通、智慧城市、智慧园区、智慧能源、智慧工厂、智慧银行、智慧工地、CDN等行业,为用户提供一体化的边端云协同解决方案。

(三) 容器批量计算

Volcano是基于Kubernetes的容器批量计算系统。面向机器学习、大数据应用、特效渲染等高性能工作场景,通过以最终资源利用率最优的目标挑出最合适的作业node,解决K8s原生调度器的调度方式单一的问题。

● 整体架构

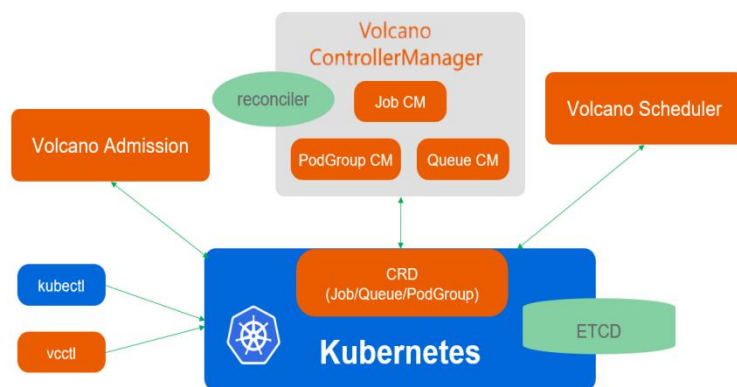


图 4 volcano系统架构

- 功能特性：
 - ✓ 支持与主流计算框架对接
 - ✓ Spark、TensorFlow、PaddlePaddle（阿里飞桨）等；
 - ✓ 支持基于主流架构的异构设备混合调度
 - ✓ X86、ARM、鲲鹏、昇腾AI、GPU
 - ✓ 支持针对Job的多种调度策略，兼容k8s调度策略
 - ✓ 子项目Volcano Global支持跨集群的作业调度

四、典型业务需求与应用场景

（一）数据安全合规需求

- 边缘视频分析场景

在智慧安防、智能质检等垂直行业应用场景下，边缘侧部署的算力资源往往以工控设备、智能网关设备、边缘服务器等形式为主，存在碎片化、异构化问题，难以统一调度、统一运维、统一管理。此外，

针对数据隐私及数据安全等行业刚性需求，还需要能够对数据流转进行端到端的控制。

基于云原生泛在算力调度技术，利用轻量化容器引擎可以将基于ARM架构、X86架构的各类算力设备进行统一抽象，纳管到算力调度平台中，实现应用的统一生命周期管理，极大增强了产品线的柔性化和敏捷性。通过算力调度平台对网络和数据流的协同管控，调度敏感数据流量不出园区、不出厂区，确保在本地完成数据计算。

（二）跨域、跨云的云资源统一纳管需求

● 异构资源统一纳管

在现阶段企业多云架构已成为常态，多云为企业能够为企业带来更好的服务可靠性，引入各云的最佳实践的同时，也对企业对自身多云态服务的管理带来挑战。对不同算力类型、不同服务厂商、不同虚拟化架构的资源进行统一标准的管控是多云态企业所必须解决的问题之一。

建设统一的管理平台，需支持纳管如openstack、vmware、K8S等异构及不同类型的算力资源，构建多云管理层面的统筹统管，实现服务的统一上架，资源的统一并网，监控统一部署，应用的统一部署，并为更高级应用场景提供基础能力平台，实现多云成本优化，云间自定义网络，分布式应用部署，跨云应用迁移等复杂场景，是云原生泛在算力调度技术落地需关注的重点场景。

● 高性能计算场景下的算力并网

未来泛在算力的分布将受到能源供给、气候条件、网络连接等因素的影响。在国家“东数西算”和双碳目标驱动下，将催生以数据为关

键生产要素、算力为核心生产力的绿色算力经济新形态。算力网络可提供基于数据、计算、智能、绿色、网络融合发展的新型共享服务模式，广泛服务于智能科学模拟、数字化政府治理等场景，提供安全可信的服务保障。

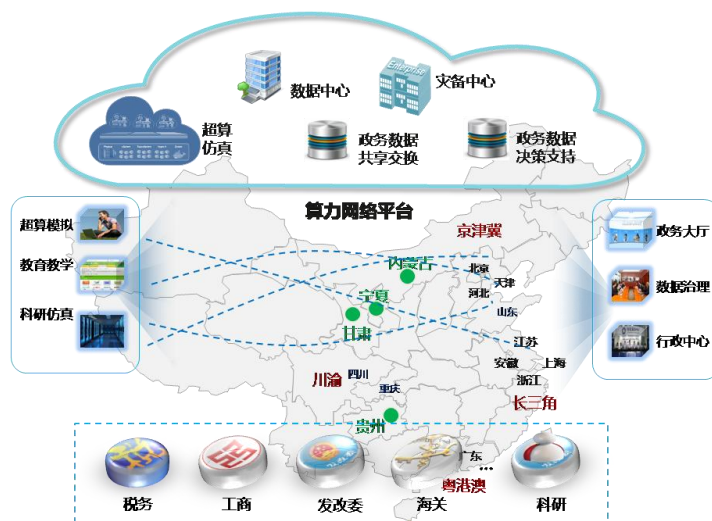


图 5 泛在算力赋能社会

在高性能计算场景下，如引力波验证、粒子加速器、蛋白质内部结构研究等尖端科研项目，需要大量的CPU、GPU、内存和网络资源，但对实时性要求不高。当前大部分科研机构 and 高校进行科学数据处理时，多选择使用公有云算力或自建高性能计算集群，甚至是超算集群，计算成本高昂。算力网络的共享经济模式，可将高算力消耗的科学计算任务拆解并分布调度到广泛存在的社会存量算力上运行，极大降低科研单位算力成本。美国“在家搜寻外星生命”项目在短短5年间，在互联网连接的个人计算机闲置的处理器资源上，积累了近200万年的CPU运行时间，处理了超过13亿个数据单元，是算力“网络化”的成功实践。

通过算力网络泛在算力调度技术搭建“算力京东”或“算力淘宝”的可信共享交易平台。面向高算力消耗场景，可极大降低算力租赁成本，个人和企业也可以随时将闲置算力贡献出来，获得算力服务收益。

● 国际算力跨境统一纳管

随着全球经济一体化发展，各类技术生产要素的交流越发频繁，对算力的跨境调度和应用成为趋势。对于业务分布在全球的企业来说，客观的有数据的本地化处理和全局化共享要求、内容分发和网络加速需求，主观的有成本优化和能源效率、跨域数据安全等要求，这些内外因决定了其算力需求具有跨境、跨厂商等特征，因此需要进行跨境算力并网以满足其业务发展需求。

国际算力具有算力规模大、覆盖范围广、应用形式多样等特征，在国际算力并网过程中，需要考虑算力网络的广泛覆盖、跨境算力的统一并入和管理、算网应用的统一化管理，通过“以网强算”，打造全球化的新型信息基础设施，共同构建繁荣开放的算力网络新生态。一是通过聚合全球云网生态伙伴，增加跨境网络覆盖，为连接全球算力提供基础设施支持；二是通过智能的算力资源调度，灵活的云网编排，为企业提供高速、低成本、一站接入的极简跨境算力网络；三是通过统一算力应用接入和编排，一站式进行跨境算力开通，降低跨境算力应用门槛，提供按需获取的算力应用和资源。

（三）云边端协同需求

为更好的满足应用对低时延、高可靠、安全合规、统一管控等特性需求，应用部署从单一数据中心向多节点分布式部署，从中心化架构向去中心化方向演进，分布式成为未来云应用的演进方向。

在云边端协同场景下，云边端能够依托本地智能算力，与设备端快速直连，完成本地的实时和办实事的数据处理，降低中心云服务压力，将离线数据或离线处理任务，传输至合适的节点进行处理，从而实现为各类应用场景和算力服务实现统一调度和任务分发，达到全局资源最优匹配，促进算力有效流动，同时兼顾业务性能和服务成本。

● 泛在AI计算服务

随着以GPT、Duffision为代表的深度学习模型在文字生成、图像生成等领域不断创新完善，越来越多的应用将引入AI技术实现用户的高效交互及体验提升。但由于这类AI模型往往依赖于较高的计算能力来保障应用的用户体验，大量低功耗移动设备、物联网设备及手持终端常常难以部署运行这类AI模型应用，因此需要利用端边云协同机制为这类设备提供AI服务。

基于云原生技术，AI计算服务提供商可以聚合泛在分布的具备AI计算能力的算力节点，通过基于云原生技术为基础动态调度、分发、部署及迁移AI算法模型，提供可服务于海量用户的AI计算服务。利用云原生泛在算力调度技术，可以为应用运营方及终端用户大大降低AI计算服务的使用成本，为垂直行业应用提供有力支撑，并推动新一代AI应用的普及和推广，在一定程度上提升AI技术对生产力的促进作用。

五、当前业界实践

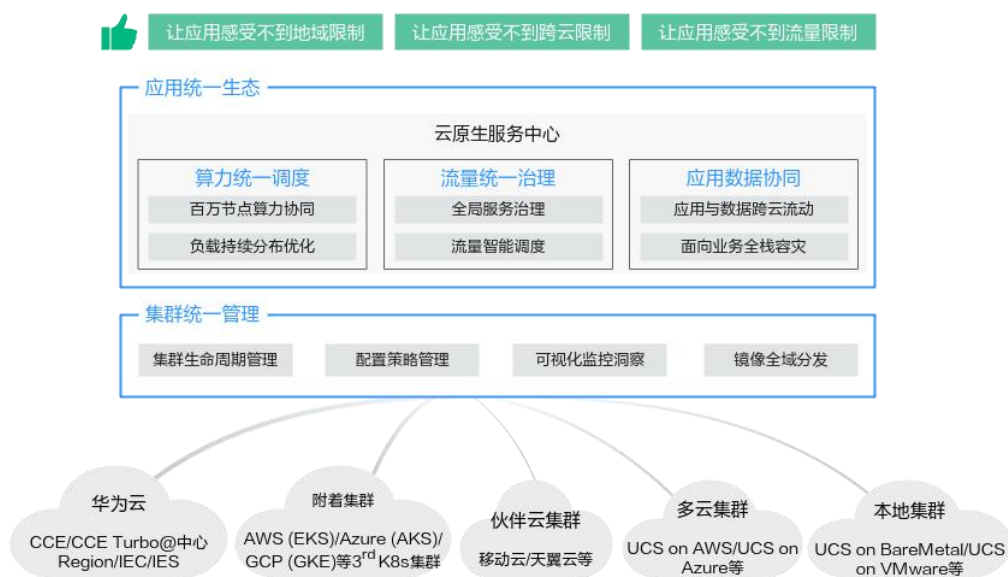
灵活策略管理以及多方算力的配置管理体验的一致性等问题。基于云原生技术栈的泛在算力管理及调度方案具备对资源和任务更

细粒度的感知和调度，已有相关商业产品及开源探索，但整体仍处于初步阶段。

（一）UCS (Ubiquitous Cloud Native Service)产品

华为云分布式云原生UCS服务，是面向分布式云场景下的新一代云原生产品，提供UCS (Huawei Cloud)、UCS (Partner Cloud)、UCS (Multi-Cloud)、UCS (On-Premises) 以及UCS (Attached Clusters) 等产品，覆盖公有云、多云、本地数据中心、边缘等分布式云场景。目前该产品已商用。

UCS是在CNCNF首个多云容器编排项目Karmada的基础上，实现了云原生应用跨云跨地域统一协同治理，支持华为云基础设施（CCE集群、CCE Turbo集群）、伙伴云基础设施（CCE集群）、用户自有基础设施（自建Kubernetes集群等），以及第三方云服务设施（Kubernetes集群）的统一管理，全面覆盖中心区域、热点区域、客户机房、业务现场等多种使用场景。



（二）谷歌Anthos产品

Anthos是基于Kubernetes开发的多集群管理工具，于2019年正式在 Google Cloud Next 19 大会上亮相。Anthos 除了能够管理AWS、Azure之外，还可以管理私有云，On Prem（本地部署）以及Edge（边缘部署），因此Anthos可以整合各个平台，成为控制平台的控制平台，也就是元控制平台。

例如公司每个部门都有多个集群运行在不同的环境中——内部部署、私有云、公有云中的自提供集群、公有云中的托管集群。统一管理这些集群对IT和DevOps团队来说是一个巨大的挑战，而Anthos这个元控制平台可实现这个功能。

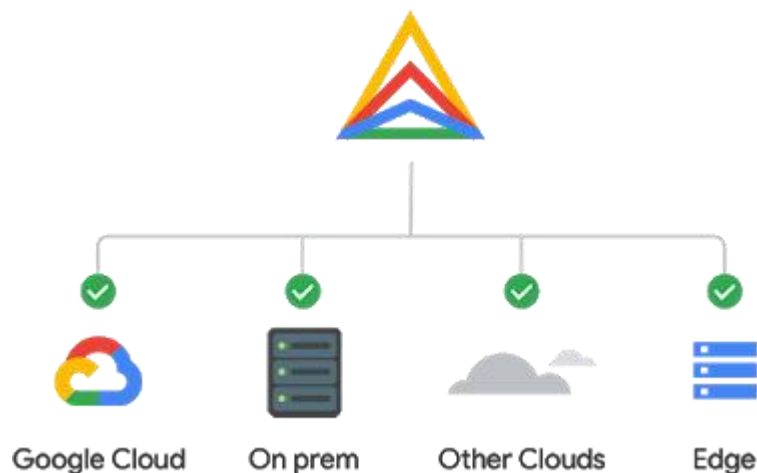


图 7 Anthos产品功能示意图

（三）算力网络（CFN）泛在算力调度Akraino蓝图项目

2022年6月，中国移动联合咪咕、华为、北邮等合作伙伴主导发起的“算力网络泛在算力调度”项目通过LF Edge 基金会 Akraino 社区评审流程，成功立项。

“算力网络泛在算力调度”项目重点关注泛在算力调度的技术方案研究与端到端业务场景验证，旨在开源社区探讨多云、边、端等泛在算力的统一管理调度平台的技术方案。泛在算力调度技术是在算力网络充分吸纳全社会云边端多级泛在的算力资源的基础上，综合考虑网络的实时状态、用户的移动位置、数据流动等要素，实现对算力资源的统一管理、跨层调配和应用的敏捷部署、动态调整，降低企业管理多云的成本和运维复杂度。

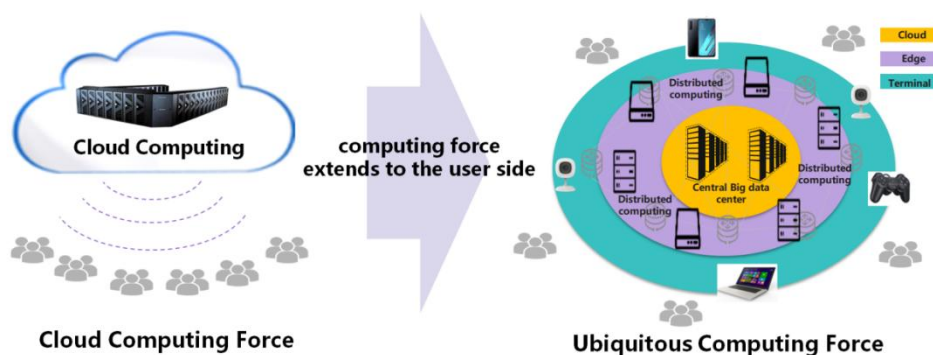


图 8 算力网络泛在算力调度示意图

结合目前正快速发展的分布式云原生技术栈，项目愿景是实现更细粒度的资源和应用感知、敏捷管理及弹性调度，对跨域、跨云公有云、私有云、自有算力等算力资源实现统一纳管，达到全局算力和网络感知及多元化调度决策。

六、 展望

当前正处于我国行业数字化的快速发展阶段，企业以云原生的方式上云已相对成熟，但对云原生算力的多样性泛在、高效互联、智能调度需求仍在逐步释放。云原生泛在算力调度技术，旨在提供面向客

户的跨地域、跨云算力资源的统一调度，应用的统一部署，调度策略的统一管理能，将用户需求通过最优网络路径分发调度至最优算力节点，解决算力网络中泛在算力有序与高效供给问题。

当然，云原生泛在算力调度技术演进还存在不少挑战。一是泛在算力调度策略目前需考虑如何与网络特性、业务特性的紧密结合。如通过实现算与网的深度融合，汇集算和网实时动态数据，实现基于算和网全量感知的弹性调度机制；二是随着人工智能、大模型等新技术领域的快速发展,越来越多的用户对智能算力集群中GPU资源调度管理的诉求强烈和越发丰富。云原生泛在算力调度技术方案也需考虑在云原生场景下如何对异构资源实现智能调度，如面对多业务共享GPU卡的情况，如何确保通过感知业务特性的动态调度，确保GPU整体资源利用率最高并基于业务的峰谷时间特性，按需调整实例数量来有效释放GPU算力，提高复用能力；三是未来进一步可结合对用户需求的感知与预测、高效的资源利用率等多维度提供云原生泛在算力调度决策支持，如基于业务成本最优、资源利用率最优等基于真实业务逻辑和需求的算力调度方案，进一步实现云原生泛在调度技术的智能化、自动化。

希望通过本研究报告能够进一步凝聚产业共识，呼吁产学研界合作伙伴通力合作，共同推动云原生泛在算力技术成熟演进与生态繁荣。

参考文献

1. 全球数字经济白皮书[R], 中国信息通信研究院, 2021
2. 中国算力发展指数白皮书[R], 中国信息通信研究院, 2021
3. 算力网络白皮书[R], 中国移动, 2021
4. 算力网络技术白皮书[R], 中国移动, 2022
5. 分布式云发展白皮书[R], 腾讯云、中国信息通信研究院云计算与大数据研究所, 2022
6. Akraino CFN 算力网络泛在算力调度项目文档
[OL],<https://wiki.akraino.org/display/AK/CFN+%28Computing+Force+Network%29+Ubiquitous+Computing+Force+Scheduling>

算网融合产业及标准推进委员会（TC621）

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-6230XXXX

传真：010-62304980

网址：www.ccnis.org.cn

