

数据中心基础设施



前言

- 通信、计算机、互联网的先后发明与规模化应用，标志着近代社会人类第三次工业革命“信息革命”的大规模兴起与应用。在通信技术、计算机、网络组成的IT基础设施中，数据中心（Data Center）则成为“集大成者”。数据中心的概念在发展中日益丰富，从最初的建筑场所逐步充实和发展，演变为融合数据中心场地、基础设施、IT硬件、IT软件支撑平台和人员，以及相应的规章制度的组织集成平台。
- 本课程帮助大家深入了解数据中心的概念、典型的分类场景以及基础设施。

目标

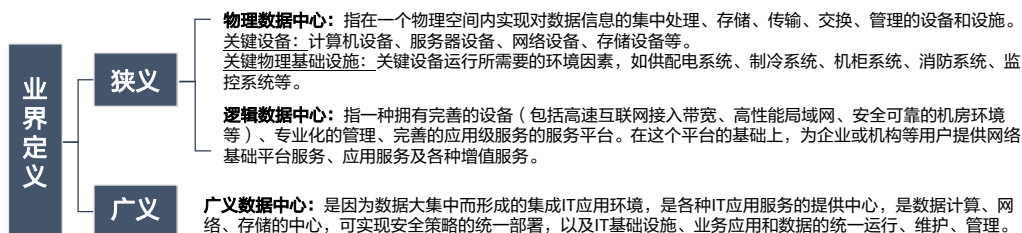
- 学完本课程后，您将能够：
 - 熟悉数据中心的定义；
 - 了解数据中心的发展历程；
 - 了解数据中心的分类方式；
 - 熟悉数据中心的分层和功能架构；
 - 了解数据中心的基础设施的功能以及建设要求；
 - 熟悉数据中心的典型ICT设备。

目录

1. 数据中心简介
2. 数据中心分类
3. 数据中心场地基础设施
4. 数据中心ICT基础设施

数据中心定义

- 数据中心（Data Center）：在一个物理空间内实现信息的集中存储、处理、传输和管理。目前，国内外对数据中心并没有明确、统一的定义。
- 国标GB 50174-2017定义：数据中心是为集中放置的电子信息技术设备提供运行环境的建筑场所。
- 国标GB/T 33136-2016定义：数据中心是由计算机机房（机房）、机房基础设施、信息系统硬件（物理和虚拟资源）、信息系统软件、信息资源（数据）和人员及相应的规章制度组成的组织。



- TIA-942定义：数据中心（Data Center）是容纳一个机房和它的支持区域的一个建筑物或一个建筑物的一部分。
- TIA-942是美国《数据中心电信基础设施标准》，经美国电信产业协会（TIA）、TIA技术工程委员会（TR42）和美国国家标准协会（ANSI）批准，每5年修订一次。该标准旨在为设计和安装数据中心或机房提供要求和指导方针。
- 国标GB 50174—2017定义：数据中心是为集中放置的电子信息技术设备提供运行环境的建筑场所，可以是一栋或几栋建筑物，也可以是一栋建筑物的一部分，包括主机房、辅助区、支持区和行政管理区等。
- 除TIA-942和国标等给出的官方定义之外，数据中心业界针对数据中心特征、内涵的不断变化，也在不断丰富数据中心的概念，数据中心的概念主要分为狭义和广义两种。
- 广义数据中心以特定业务资源中的各类数据为核心，依托数据库管理、业务运行基础平台和网络系统，按照统一的标准，建立具有信息管理、数据综合分析、数据分类查询、综合统计分析及信息服务等功能的一体化业务资源数据管理体系。它既是特定业务信息系统的中枢，又是特定业务信息交换体系的主体，还是更大的特定业务信息交换体系的节点。

数据机房演进示意图

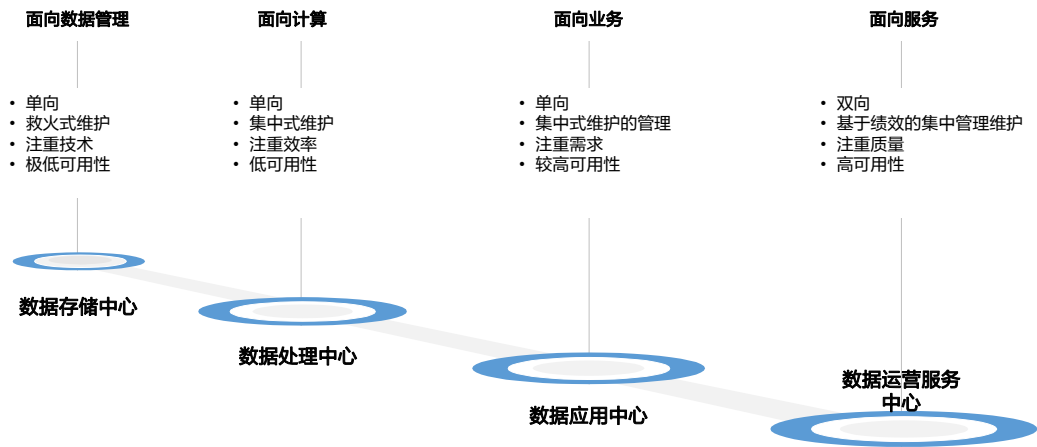


- 初代DC：大型机机房由于早期计算机主要是由电子管、晶体管组成的，它们的体积非常庞大、耗电量高、成本昂贵，多用于国防军事、科学研究等领域。由于涉及的数据非常敏感，当时价格昂贵的UPS和精密空调也成为必备选项，这时的数据机房倾向于大型机的数据计算，因此也称为数据计算机房。由于计算消耗的资源过大、成本过高，因此计算的各种资源集中也是必然的选择。同时，也诞生了与之配套的第一代的数据机房。UPS/机房精密空调就是在这个时代诞生的。
- 一代DC：计算机机房随着大规模集成电路的迅速发展，除向巨型机方向发展之外，更多地朝着小型机和微型机方向快速演进。世界上第一台微型计算机诞生于美国旧金山南部的硅谷，开创了微型计算机时代。在这个时代，计算形态总体来说是以分散为主，分散与集中并存。因此，数据机房的形态也就必然是各种小型、中型、大型机房并存的态势，特别是中小型机房得到了爆炸式的发展。
- 二代DC：随着互联网的出现，分散在各地的数据资源被有效地整合到一起，为满足数据增长的需求，IDC应运而生，它集中收集和处理数据，可以为用户提供主机托管、资源出租、系统维护、流量分析、负载均衡、入侵检测等服务。此时的数据中心IT设备、供电设备、制冷设备开始出现专业化，X86服务器开始逐渐成为主流趋势。本阶段计算资源再次集中的过程绝不是对第一阶段的简单复制，其有两个典型的特点：一是分散的个体计算资源本身的计算能力急速发展，如摩尔定律和其后的多核技术就是典型的应用；二是个体计算资源被互联网整合。这种整合现在也成了一个关键环节，因此也会不断地演进。顺着上述两条思路看现今的热点：英特尔和AMD的白热化竞争、刀片服务器、互联网宽带、IPv6、虚拟化、云计算等均在上述思路覆盖之中。
- 三代DC：云数据中心随着视频、网游、SNS、电商等互联网应用的推动，以及移动互

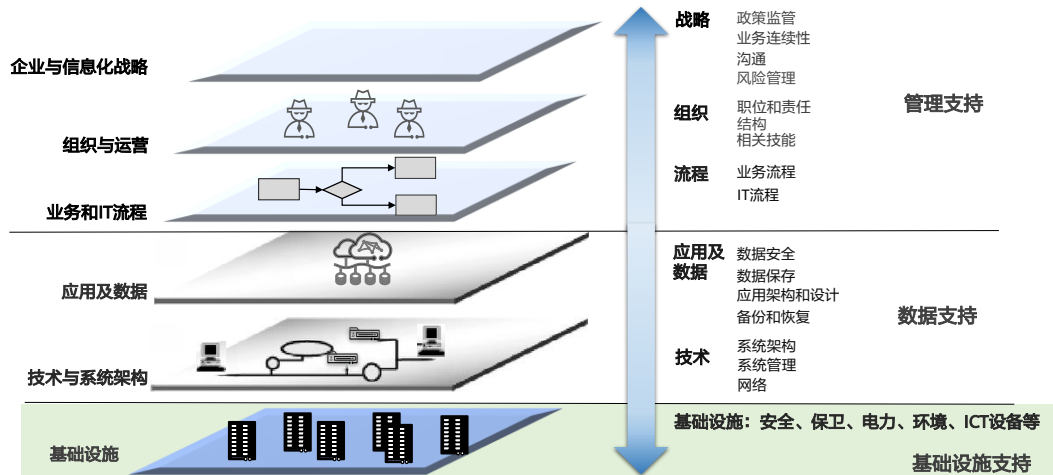
联网和智能终端设备的普及，每天产生数据的量开始从TB向PB、EB发展。传统数据中心是以设备为中心的，将IT技术与企业业务分离看待。但是，各自独立、数量庞杂的系统常常无法及时响应快速发展的业务需求。而云数据中心的整个IT体系架构，从底层的基础设施、应用开发和运行的平台，到业务软件，甚至支持企业运营的业务流程，均作为一种服务，随时随地按需交付。

- 四代DC：智算中心由AI大算力需求、技术迭代、政策引导共同推动发展，当前已从规模扩张进入价值落地阶段。其主流架构为分层异构设计，底层以CPU+GPU+NPU+DPU异构组合适配多元算力需求，中间通过智算操作系统统一调度，上层支撑AI应用开发落地；机房端因单机柜功率提升，浸没式液冷逐步替代传统风冷，配合“东数西算”形成“东低延西绿能”的差异化布局。

数据中心功能演进

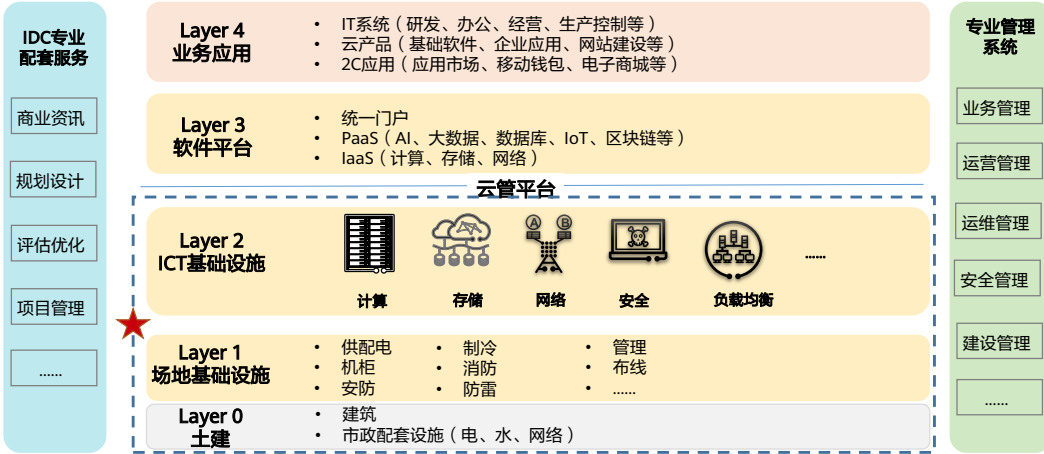


数据中心建设基本内容

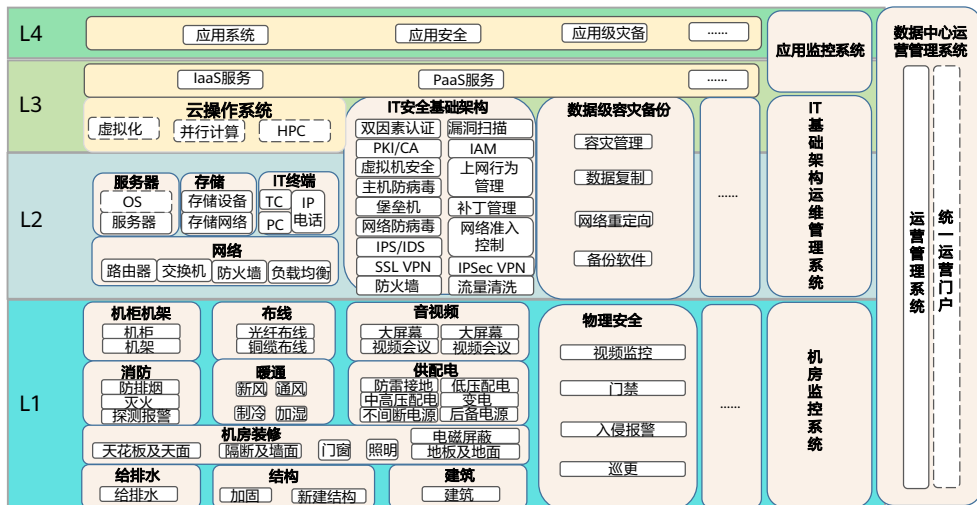


- 基础设施支持：用统一的技术将机房、通信、计算、存储等IT基础资源融合形成数据中心的基础设施，为业务系统提供基本的资源服务。
- 数据支持：数据中心包括数据中心本身的ODS、数据仓库及建立在其上的决策分析应用。数据中心提供所有的应用系统（包括集中的业务应用系统、数据交换平台、应用集成平台）的运营环境，并且有一套成熟的运行和维护系统，以保证应用系统高效、准确、不间断地运行。为了支撑应用正常运行，需要做好网络环境、安全环境建设、做好底层以及应用系统架构的设计。
- 管理支持：为了维持数据中心正常运行，还需要有一套成熟的管理体系，包含了业务与IT流程、组织与运营、企业与信息化战略。

数据中心层次模型



数据中心功能区逻辑组成

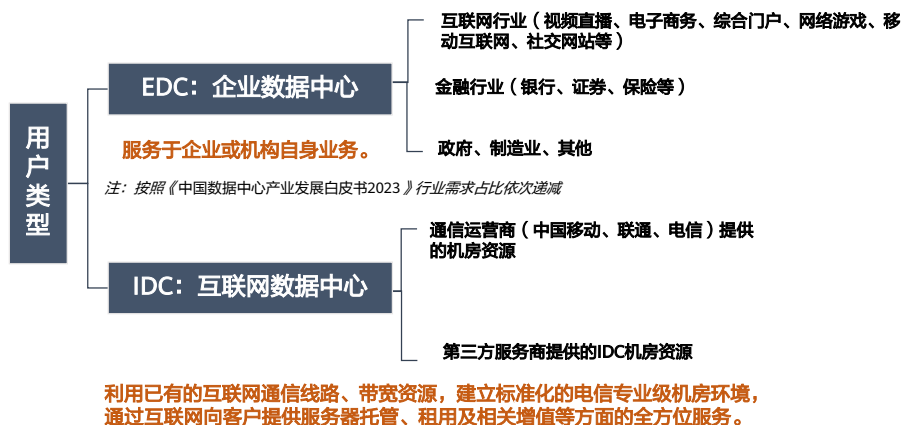


- 数据中心机房（L1）主要由建筑结构、给排水、机房装修、供配电、暖通、消防、机柜机架、综合布线、音视频、安防和动环监控子系统组成。

目录

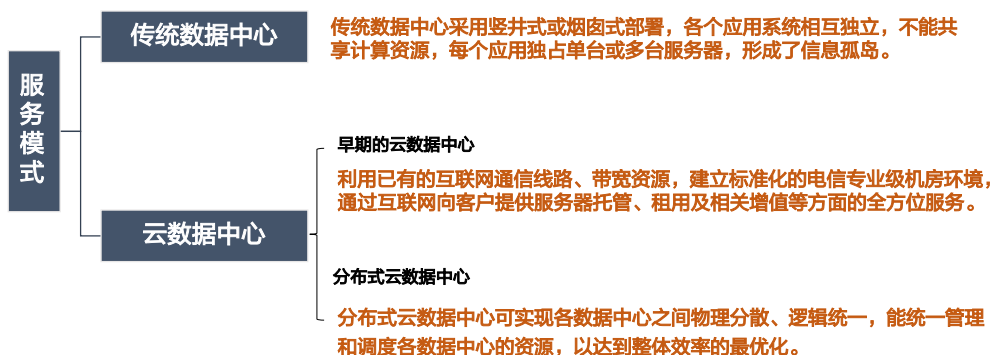
1. 数据中心简介
- 2. 数据中心分类**
3. 数据中心场地基础设施
4. 数据中心ICT基础设施

按照服务对象分类



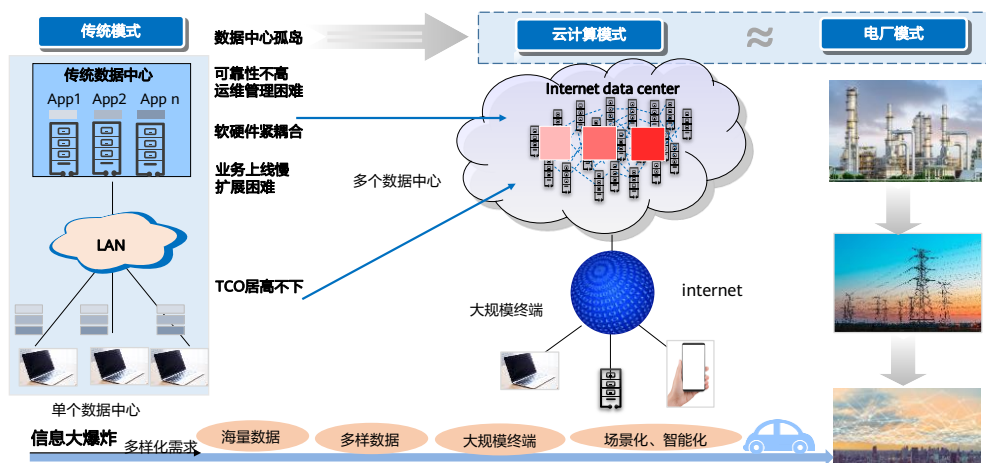
- EDC按照各数据中心企业用户的规模进行划分，数据来自中国数据中心产业发展白皮书。
- IDC可以为各类应用和客户提供大规模、高质量、安全可靠的专业化服务器托管、空间租用、网络批发带宽及ASP、EC等服务。通过使用IDC服务，企业或政府单位不需要建立自己的专用机房和铺设昂贵的通信线路，也无须建立专门的网络工程师队伍。由于面向的服务对象更广，这类数据中心规模一般较大，设备和平台也较为高端。

按照服务模式分类



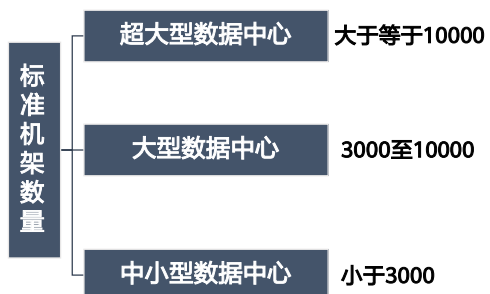
- 分布式云数据中心不再局限于解决单个数据中心的效率和用户体验问题，而是将多个数据中心看成一个有机整体，围绕跨数据中心管理、资源调度和灾备设计，包括实现跨数据中心云资源迁移的云操作系统、多数据中心统一资源管理和调度的运维管理系统、大二层超宽带网络和软件定义数据中心能力。这些关键技术可极大地提升多个数据中心整体的运作效率和可靠性，降低集团用户50%甚至更多的CAPEX和OPEX；同时可通过用户工作环境跟随用户接入地点迁移等技术，降低网络时延，极大地提升最终用户的体验。
- Capital Expenditure（CAPEX）即资本性支出，是指企业为取得长期资产而发生的支出，或为了取得为一个以上会计期间提供效益的财产或劳务所发生的支出。计算公式为：CAPEX=战略性投资+滚动性投资。
- OPEX是（Operating Expense）即运营成本，计算公式为：OPEX=维护费用+营销费用+人工成本（+折旧）。运营成本主要是指当期的付现成本。

云数据中心简介



- 在传统模式下，企业一般自建数据中心，容易形成数据中心孤岛，并且建设和自运维/运营成本高昂。
- 通俗地讲，云，是网络、互联网的一种比喻说法，即互联网与建立互联网所需要的底层基础设施的抽象体。“计算”指的是一台足够强大的计算机提供的计算服务（包括各种功能，资源，存储）。“云计算”可以理解为：通过网络可以使用足够强大的计算机为用户提供的服务。那么这些底层的“强大计算机”怎么来的呢？云服务提供商可以建立多个IDC，由IDC为用户共同提供计算资源。用户可以通过网络随时随地、便捷地、随需应变地从云平台中获取资源。就好像目前的电厂一样，由电力公司统一规划建设，通过电网将电力资源传送给千家万户。普通用户可以按需用电。
- 随着时代的发展，对算力的需求越来越高。如何处理多样化的海量数据，为大规模的终端用户提供高质量的服务，解决不同行业场景的需求，让服务更加智能化？传统模式的数据中心不能满足所有需求，但是云计算可以作为一种很好的解决方案。

按照容量分类



注：此为工信部划分的数据中心规模等级。
标准机架：2.5KW功率/机架



按照算力类型分类



- 按照算力划分，数据中心可分为通算中心、智算中心和超算中心等。
- 算力集群主要是3类，即高性能计算算力集群（HPC/超算计算中心）、人工智能计算算力集群（AI计算中心或智算中心）以及通用计算算力集群（云数据中心），过去这3类算力集群以烟囱化建设模式为主，未来将走向融合建设的模式。比如：HPC+AI可以极大的提升传统HPC的计算效率，短期天气预报就是一个融合AI、大数据和科学计算的典型实例。未来，新型数据中心将是提供多样性计算综合能力的算力集群，以满足千行百业智能化的需求。

通用计算数据中心简介

- 数据中心是一整套包括建筑在内复杂的设施。它不仅包括计算机系统和其他与之配套的设备（例如通信和存储系统），还包含冗余的数据通信连接、环境控制设备、监控设备以及各种安全装置。
- 按照算力划分，数据中心可分为通算中心、智算中心和超算中心等。
- 通用计算数据中心用于提供通用算力。目前，通算中心一般用于承载云平台，提供相关服务。



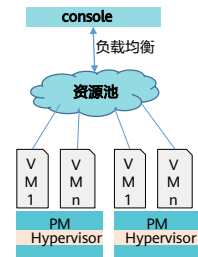
通用计算中心相关概念

- **服务器集群：**

- 通用定义：服务器集群是把多台服务器通过快速通信链路连接起来，并将负载通过一定的机制动态地分配到这些服务器中去的集群。
- 云数据中心中可以将相同硬件配置（CPU，内存）以及连接同一共享存储或分布式存储的计算服务器组成一个主机组，对外提供服务。例如裸金属服务器集群或KVM虚拟化的服务器集群。

- **虚拟化集群：**

- 通用定义：虚拟化集群是指将多个物理计算机集合在一起，通过虚拟化技术将其构建为一个统一的计算资源池，并提供高可用性、负载均衡等特性的计算机集群。集群中每个节点上运行着虚拟化软件。



- 通用计算数据中心用于提供通用算力。目前，通算中心一般用于承载云平台，提供相关服务。
- 此页课件介绍了算力集群中常用的概念。
- 在云数据中心中，可以在服务器中安装虚拟化软件，用于创建虚拟机，更加灵活地应对用户的需求。

通用计算数据中心设计理念

智能管理

- 集中管理
- 智能联动

高可用性

- 分级建设
- 冗余保障

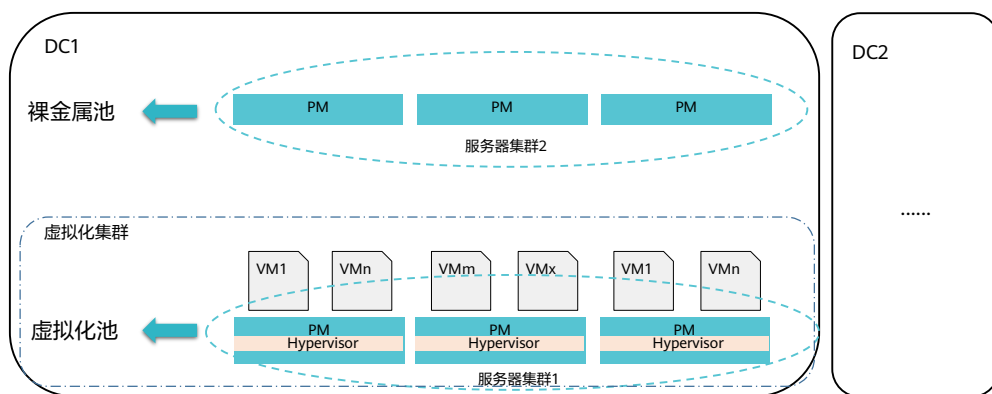
灵活扩展

- 模块化设计
- 按需部署
- 快速交付

高效节能

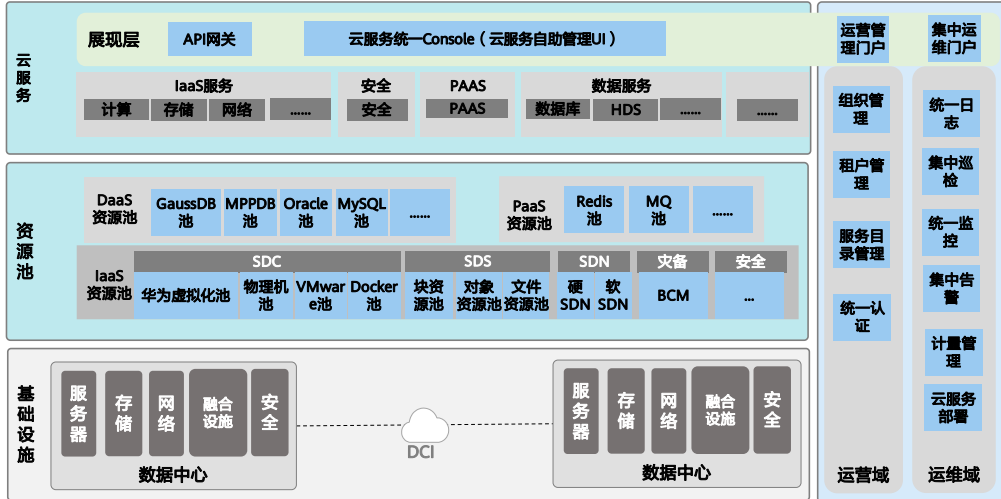
- 高效管理
- 动态制冷
- PUE持续优化

计算资源模型



- 管理员可在数据中心内部规划部署不同的集群，用以承载不同的业务。比如，管理员可以规划部署裸金属集群和虚拟化集群，得到裸金属资源池和虚拟化资源池，分别提供裸金属资源和虚拟机资源。

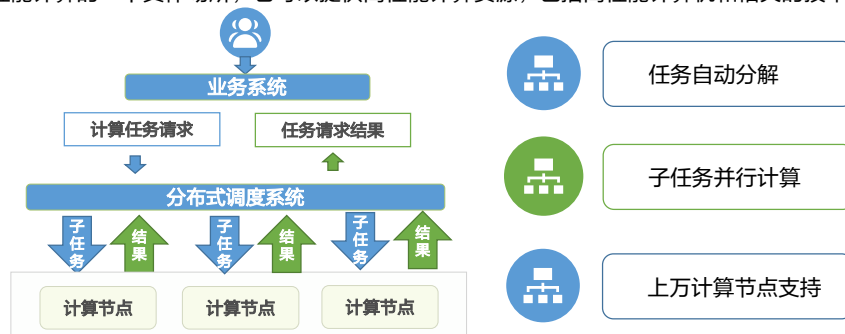
通用计算数据中心逻辑架构



以华为云产品为例

高性能计算简介

- 高性能计算（HPC）是一种利用强大处理器集群并行处理海量多维数据集并以极高速度解决复杂问题的技术。HPC系统的运行速度通常比最快的商用台式机、笔记本电脑或服务器系统快一百万倍以上。HPC Cluster以计算为目的，通过多个普通节点的并行计算，实现强大的计算功能。
- 超算中心是实现高性能计算的一个具体场所，它可以提供高性能计算资源，包括高性能计算机和相关的技术支持。

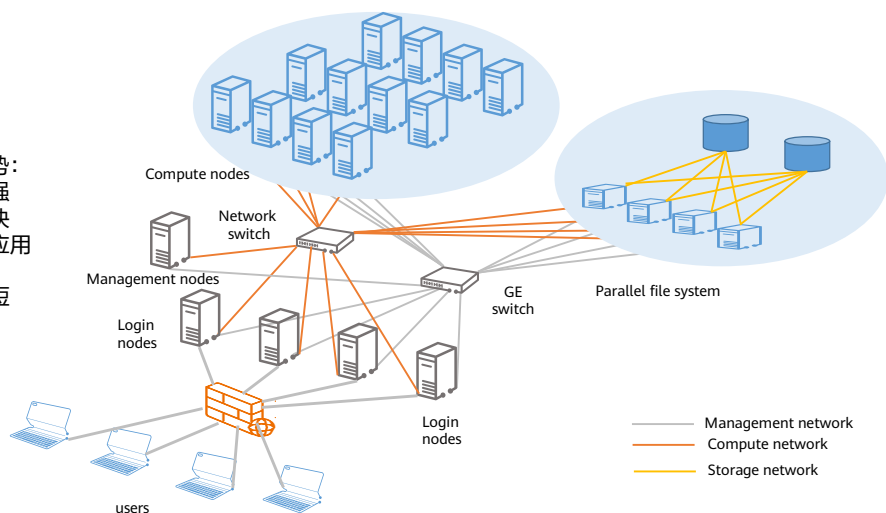


- HPC（High Performance Computing）高性能计算，是通过高速网络将大量服务器进行互联形成计算机集群，与高性能存储一起，求解科研、工业界最复杂的科学计算问题（科学研究领域三大范式：理论科学，实验科学，计算科学）。

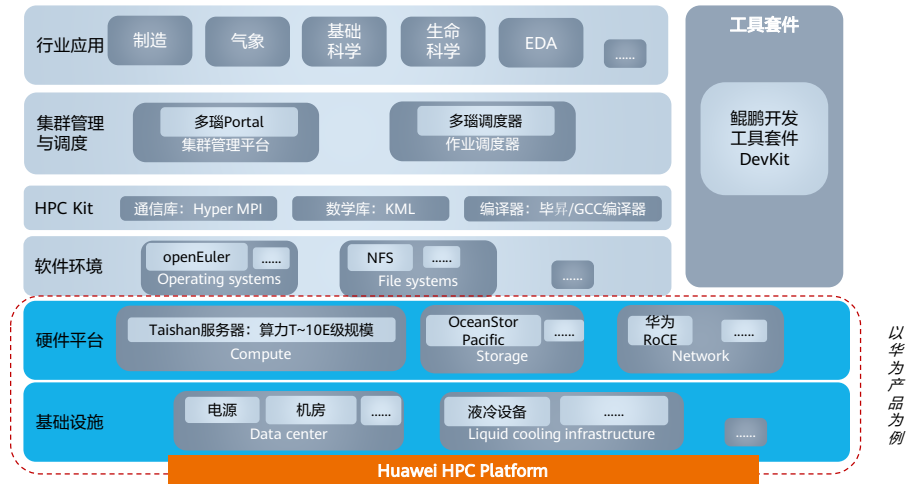
主流高性能计算集群架构

■ 高性能集群优势:

- ✓ 可伸缩性强
- ✓ 技术跟随快
- ✓ 兼容现有应用
- ✓ 性价比高
- ✓ 研制周期短



高性能计算数据中心逻辑架构

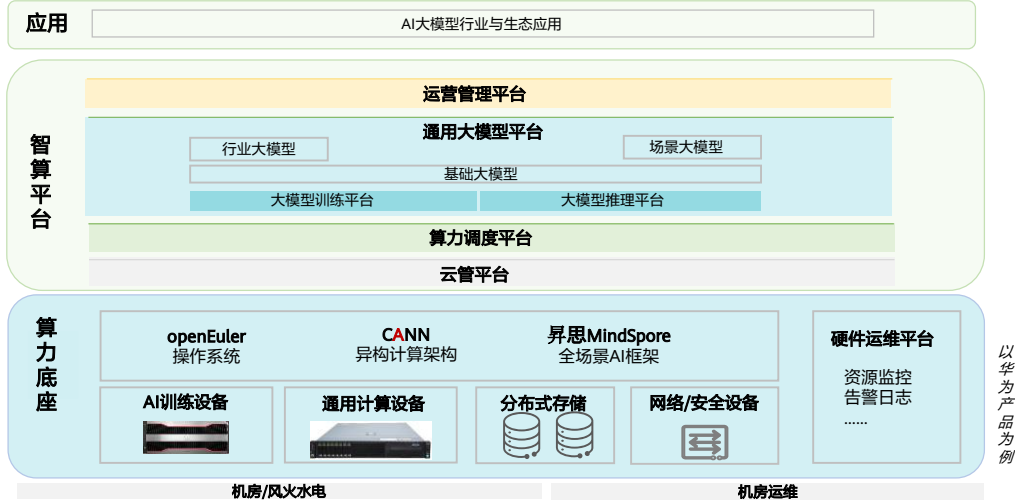


智算中心简介

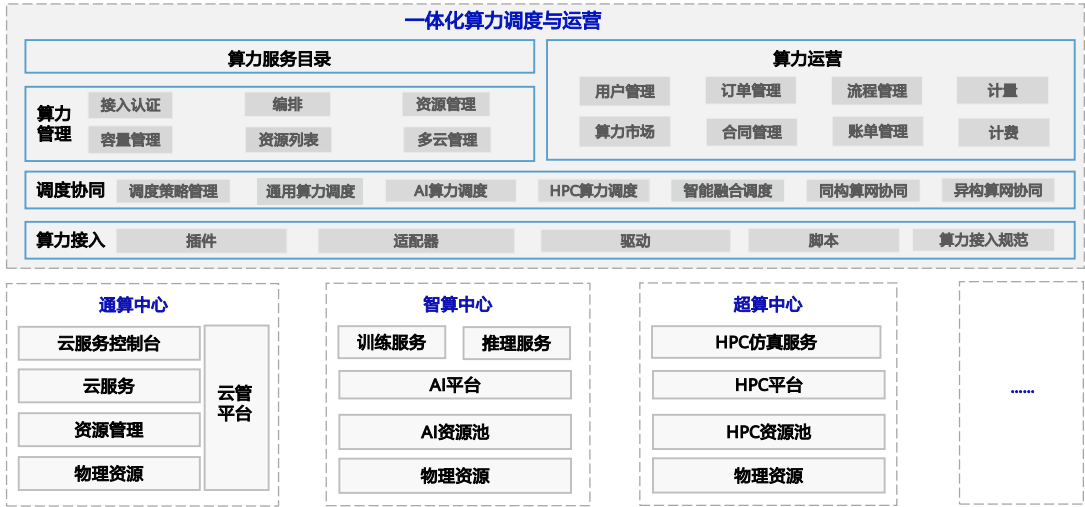
- 智算中心是面向人工智能技术研发与应用的基础设施，它以融合架构计算系统为平台，以数据为资源，能够以强大算力驱动AI模型对数据进行深度加工，源源不断产生各种智慧计算服务，并通过网络以云服务形式供应给组织及个人。
- 智算中心和通用数据中心虽然都是现代计算基础设施的重要组成部分，但它们各自针对的应用场景和服务对象有所不同。

- 智算中心是集算力、算法、数据、科技创新为一体的新型基础设施，提供从底层芯片算力释放到顶层应用使能的人工智能全栈能力，满足科研、教育、医疗、制造、城市管理等各行业的算力需求，推动人工智能产业的发展。

智算中心逻辑架构



集群算力中心总体方案



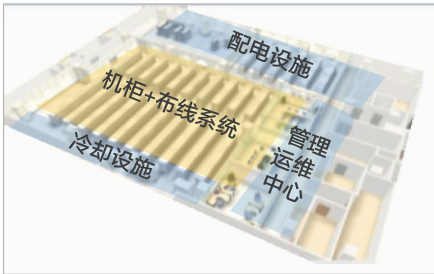
- 多样化复合型算力柔性供给，统一调度和运营。

目录

1. 数据中心简介
2. 数据中心分类
- 3. 数据中心场地基础设施**
4. 数据中心ICT基础设施

数据中心场地基础设施

数据中心L1层简略视图（基础设施）



1、前置知识

机房功能区

数据中心技术标准

数据中心等级划分

2、关键模块

数据中心建筑与结构

机房装修

暖通系统

消防系统

给排水系统

供配电系统

数据中心监控与管理

机柜机架

综合布线

数据中心机房的功能区组成

- 数据中心机房通常是为用户提供运行环境的场所，可以是一栋建筑物或建筑物的一部分，包括主机房、辅助区、支持区和行政管理区。
 - **主机房：**主机房是安装和运行数据处理设备的建筑空间，包括服务器机房、网络机房、存储机房等功能区域。
 - **辅助区：**辅助区是安装、调试、维护、运行、监控和管理电子信息设备和软件的场所，包括进线间、测试机房、总控中心、消防和安防控制室、拆包区、备件库、维修室、打印室等区域。
 - **支持区：**支持区是为主机房、辅助区提供动力支持和安全保障的区域，包括变配电室、柴油发电机房、电池室、空调机房、动力站房、不间断电源系统用房、消防设施用房等。
 - **行政管理区：**行政管理区是日常行政管理及客户对托管设备进行管理的场所，包括办公室、门厅、值班室、盥洗室、更衣间和用户工作室等。

- 数据中心机房的环境必须满足计算机等各种电子设备和工作人员对温度、湿度、洁净度、电磁场强度、噪音干扰、安全保安、防漏、电源质量、振动、防雷和接地等的要求。
- 数据中心机房主要由给排水、建筑结构、机房装修、供配电、暖通、消防、机柜机架、综合布线、音视频、安防和动环监控子系统组成。

数据中心技术标准概述

- 数据中心设计时需要遵循众多相关国内、国际的标准与规范，主要包括以下几种：

《数据中心设计规范》 《供配电系统设计规范》 《建筑内部装修设计防火规范》 《建筑照明设计标准》

《数据中心基础设施施工及验收规范》 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》 《安全防范工程技术规范》

《通风与空调工程施工质量验收规范》 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》 《综合布线工程设计规范》

《公共建筑节能设计标准》 《建筑给水排水设计标准》 《绿色建筑评价标准》 《通信建筑工程设计规范》

《视频安防监控系统工程设计规范》 《建筑装饰装修工程质量验收标准》 《数据中心电信基础设施标准》

《绿色建筑评价标准》 《.....》

对国内数据中心的整体技术要求而言，上述标准中最为基础且重要的标准是《数据中心设计规范》（GB 50174—2017）。该规范共分为13章及1个附录，主要技术内容有总则、术语、机房分级与性能要求、机房位置及设备布置、环境要求、建筑与结构、空气调节、电气技术、电磁屏蔽、机房布线、机房监控与安全防范、给水排水、消防等。

数据中心等级划分（1）

在《数据中心设计规范》（GB 50174—2017）中，将电子信息系统机房根据使用性质、管理要求及其在经济和社会中的重要性划分为A、B、C三级。

A级

最高级别，涉及国计民生。其电子信息系统运行中断将造成重大的经济损失或公共场所秩序严重混乱。例如，国家气象台；国家级信息中心；重要的军事指挥部门；大中城市的机场、广播电台、电视台、应急指挥中心；银行总行等属A级机房。

B级

其电子信息系统运行中断将造成一定的社会秩序混乱和一定的经济损失。例如，科研院所；高等院校；三级医院；大中城市的气象台、信息中心、疾病预防与控制中心、电力调度中心、交通（铁路、公路、水运）指挥调度中心；国际会议中心；国际体育比赛场馆；省部级以上政府办公楼等属B级机房。

C级

A级或B级范围之外的电子信息系统机房为C级。

- A级电子信息系统机房内的场地设备应按容错系统配置，在电子信息系统运行期间，场地设备不应因操作失误、设备故障、外电源中断、维护和检修而导致电子信息系统运行中断。
- B级电子信息系统机房内的场地设备应按冗余要求配置，在系统运行期间，场地设备在冗余能力范围内，不应因设备故障而导致电子信息系统运行中断。

数据中心等级划分（2）

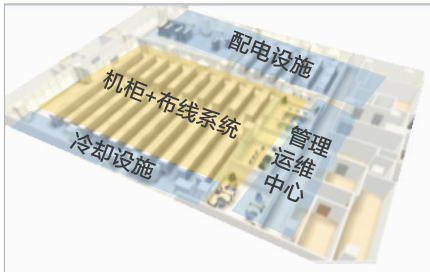
- 在《数据中心电信基础设施标准》ANSI/TIA 942—2014机房分级中，将数据中心按照可靠性等级划分方法划分为四级。在四个不同等级中，包含了对建筑结构、安全性、电器、接地、机械防火保护等的不同要求。

项目	第一级	第二级	第三级	第四级
数据中心可用性	99.671%	99.749%	99.982%	99.995%
每年由于基础设施引起的IT服务中断时间	28.8小时	22.0小时	96分钟	24分钟

- 每年由于基础设施引起的IT服务中断时间=365天*24小时*可用性。例如第一级数据中心每年由于基础设施引起的IT服务中断时间=365*24*99.671%，约为28.8小时。

数据中心场地关键模块总览

数据中心L1层简略视图（基础设施）



1、前置知识

机房功能区

数据中心技术标准

数据中心等级划分

2、关键模块

数据中心建筑与结构

机房装修

暖通系统

消防系统

给排水系统

供配电系统

数据中心监控与管理

机柜机架

综合布线

数据中心建筑与结构简介

- 常见的数据中心建筑结构有以下三种：钢筋混凝土结构，钢结构，集装箱。
- 数据中心的建筑结构不仅要有承载的基本功能，还要满足数据中心的标准规范。
- 建筑与结构主要界定了机房的防震等级、机房对建筑结构的要求及机房内部的空间结构、出入口、防火及疏散、室内装修等内容。

数据中心建筑与结构技术要求

- 《数据中心设计规范》（GB 50174—2017）第六部分分4个章节分别从“一般规定”、“人流、物流及出入口”、“围护结构热工设计和节能措施”和“室内装修”阐述了数据中心建筑与结构的技术要求。

一般规定

举例：

- 新建数据中心时，主机房净高不宜小于3.0m。
- 抗震要求：

数据中心	A级	B级	C级
抗震设防要求	不应低于丙类，新建不应低于乙类	不应低于丙类	不宜低于丙类

室内装修

举例：当主机房内设有用水设备时，应采取防止水漫溢和渗漏措施。

人流、物流及出入口

举例：数据中心宜单独设置人员出入口和设备、材料出入口。

围护结构热工设计和节能措施

举例：数据中心围护结构的材料选型应满足保温、隔热、防火、防潮、少产尘等要求。

- 乙类（重点设防类）：地震时使用功能不能中断或需要尽快恢复的与生命线相关的建筑，以及地震时可能导致大量人员伤亡等重大灾害后果的建筑，应按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施。
- 丙类（标准设防类）：按标准要求进行设防的建筑，应按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施和地震作用，达到在遭遇高于当地抗震设防烈度的预估罕遇地震影响时不致倒塌或发生危及生命安全的严重破坏的抗震设防目标。

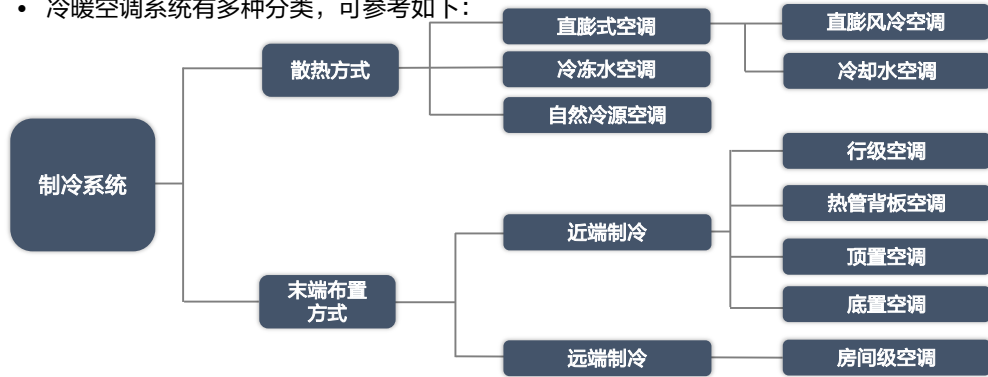
机房装修

- 机房装修就是根据数据中心对结构与装饰的需求，对数据中心机房区域，支持区域进行功能性改造，例如彩钢板隔墙、机房吊顶和防静电地板的装修。
- 数据中心装饰装修的基本作用就是要满足数据中心机房防火、防水、防尘、防静电、隔热、保温、屏蔽等要求。机房装饰装修既要与现代化的计算机、通信设备相匹配，又能通过精良、独特的设计构思，真正体现“安全、适用、美观、现代”的整体形象。

暖通系统

- 数据中心暖通系统主要包括制冷暖通空调系统，通排风系统，主要用于服务器机房和支持区域保持恒湿恒温，以及新风输送。

- 冷暖空调系统有多种分类，可参考如下：



环境要求

数据中心环境	环境要求
主机房温度（开机时）	23°C ± 1°C
主机房相对湿度（开机时）	40% ~ 55%
冷通道或机柜进风区域的温度	18°C ~ 27°C
冷通道或机柜进风区域的相对湿度和露点温度	露点温度为5.5°C ~ 15°C，同时相对湿度不大于60%
主机房环境温度和相对湿度（停机时）	5°C ~ 45°C，8% ~ 80%，同时露点温度不大于27°C
辅助区温度、相对湿度（开机时）	18°C ~ 28°C，35% ~ 75%
辅助区温度、相对湿度（停机时）	5°C ~ 35°C，20% ~ 80%
不间断电源系统电池室温度	20°C ~ 30°C
主机房空气粒子浓度	应少于17600000粒（每立方空气中大于或等于0.5 μm的悬浮粒子数）
电子信息设备进风温度（举例：华为）	10°C ~ 35°C
电子信息设备适宜相对湿度（举例：华为）	8% ~ 85%

- 在计算机数据中心内部，为了保证服务器等设备运行的稳定性和可靠性，需要对其进行冷却。冷通道和热通道就是常见的两种冷却方式。
- 冷通道是指将冷空气远离服务器吸入，使其均匀地经过每个服务器，完成散热后再排出。
- 而热通道则是将空气直接从热源服务器后面吸入，减少了冷却空气的流量和速度，直接让热空气排出去。此类通道通常在空间不足或高密度的数据中心中使用。

空气调节系统技术要求

- 数据中心空气调节是数据中心建设的重要内容，在涉及数据中心的机房空调系统建设时，GB 50174—2017和ANSI/TIA 942—2014也做出了细致的规定。GB 50174—2017中第七部分分5个章节阐述了机房空气调节，分别为“7.1 一般规定”“7.2 负荷计算”“7.3 气流组织”“7.4 系统设计”“7.5 设备选择”。

一般规定

举例：数据中心的空气调节系统设计应根据数据中心的等级，按规范执行。

负荷计算

此章节将数据中心的热负荷及湿负荷进行了详细的分类。

气流组织

此章节指出气流组织应该根据具体情况灵活处理，提出了对主机房的气流组织，风口及送回风温差的建议。

系统设计

主要内容有空调布置、风管及管道材质、地板下空间使用、防火阀功能、空调噪声、室内正压数值和新风量以及空气过滤器设置要求，并建议优先推荐水冷或冷冻水机组。

设备选择

此章节主要阐述设备选择的原则、冗余及容量裕量、空调通信及显示等内容。

- <http://www.jianbiaoku.com/webarbs/book/167/3183541.shtml>

数据中心消防系统

- 数据中心消防系统的作用主要是控制或扑灭火灾，保护设备及建筑，在灭火的前提下，还要尽量保证机房内设备受到的损害最小化。
- 数据中心机房和关键支持区的消防一般分几种方式：消火栓系统、水喷淋系统、细水雾系统、气体灭火系统（NOVCE 1230或FM200）、灭火器等等，国内大部分项目不允许有水管进入机房内，所以一般不用水喷淋系统。其他区域如走廊，办公室等区域可只使用水喷淋灭火系统和手提式灭火器。

- 消防系统的作用主要是控制或扑灭火灾，保护设备及建筑。

数据中心火灾自动报警系统

- 火灾自动报警系统的作用是早期发现火灾，提醒现场人员采取必要的灭火手段，或者联动启动自动灭火系统。该系统有很多种类，可用于数据中心的主要有吸气式烟雾探测系统、感烟探测系统、感温探测系统。各种火灾自动报警系统的设计应按照《火灾自动报警系统设计规范》（GB 50116—2013）执行。

- 此为与消防系统联动的系统。

数据中心机房消防系统技术要求

- GB 50174—2017中第十三部分分4个章节阐述了机房消防，分别为“13.1 一般规定”“13.2 防火与疏散”“13.3 消防设施”“13.4 安全措施”。该规范中对各等级机房中的相应的灭火装置进行了分类，也对火灾自动报警系统提出了要求，如对于消防设施中火灾探测器设置、报警联动、警示方式、灭火剂等有明确规定。

一般规定

举例：

- B级数据中心和C级数据中心的主机房宜设置气体灭火系统，也可设置细水雾灭火系统或自动喷水灭火系统。
- 总控中心等长期有人工作的区域应设置自动喷水灭火系统。

防火与疏散

举例：直通疏散走道的房间疏散门至最近安全出口的最大直线距离(m)：

疏散门的位置	单层、多层	高层
位于两个安全出口之间的疏散门	40	40
位于袋形走道两侧或者尽端的疏散门	22	20

安全措施

举例：设置气体灭火系统的主机房，应配置专用空气呼吸器或氧气呼吸器。

数据中心烟气控制要求

- 火灾烟雾被驱散后，一些微颗粒物含有一些活性的副产物，在湿度和氧气存在的情况下，该物质会腐蚀金属接触面。需要采取相应方法阻止腐蚀过程继续发展。

1

尽快将接触烟雾的设备转移到有空气调节，且空气质量适度控制的环境中。通常情况下，40%~50%的相对湿度有利于防止腐蚀作用的加剧。

2

如果移动设备不可能，确保设备区域能被封闭起来，使其与外界隔离。注意，不要用任何可能将湿气蓄积在机壳内的材料包裹设备。

3

初期清洁：以喷雾器向接头、底板和集成电路母板上喷射氟立昂或氟立昂-酒精溶剂。

4

初期清洁后，使用任何类型的防腐蚀气雾剂来固化金属接触面。该气雾剂将产生容易去除的薄覆盖层，有助于防止氧气和湿气促进腐蚀过程的发生。

- 烟气控制对于数据中心至关重要，火灾所造成的烟雾损失是电子设备损毁的主要原因。烟雾中含有腐蚀性氯化物和硫化物等燃烧副产品。在火灾发生过程中，在相对短的时间内，电子设备暴露在烟雾中几乎不会立即造成损坏。然而，在烟雾被驱散后，一些微颗粒物含有一些活性的副产物，在湿度和氧气存在的情况下，该物质会腐蚀金属接触面。

给排水系统

- 数据中心给排水系统主要包括生活给排水系统、生产给排水系统和雨水系统等。给排水系统为建筑物内提供生活生产保障用水，同时排放生活污水和生产中产生的各种废水、雨水。

一般规定

举例：给排水系统应根据数据中心的等级，按规范执行。

数据中心	A级	B级	C级
屋面防水等级	I级	I级	II级

管道敷设要求

举例：

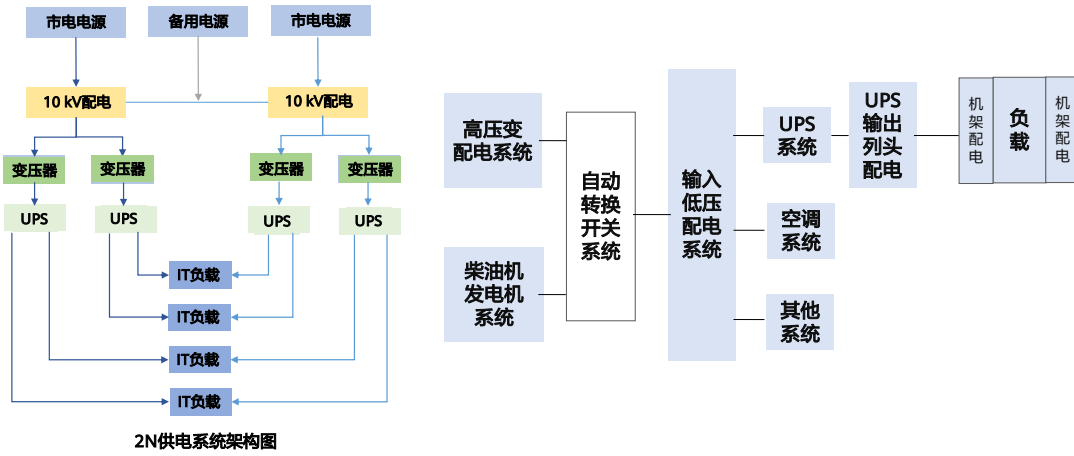
- 数据中心内的给水排水管道应采取防渗漏和防结露措施。
- 穿过主机房的给水排水管道应暗敷或采用防漏保护的套管。管道穿过主机房墙壁和楼板处应设置套管，管道与套管之间应采取密封措施。
- 主机房和辅助区设有地漏时，应采用洁净室专用地漏或自闭式地漏，地漏下应加设水封装置，并应采取防止水封损坏和反溢措施。

- 在数据中心的给水排水设计中，通常还必须遵循的国家标准有《建筑给水排水设计标准》（GB 50015—2019）、《室外给水设计标准》（GB 50013—2018）和《室外排水设计规范》（GB 50014—2016）等。

供配电系统

- 任何现代化的IT设备都离不开电源系统，数据中心供配电系统是为机房内所有需要动力电源的设备提供稳定、可靠的动力电源支持的系统。供配电系统对整个数据中心系统来说，犹如人体的心脏—血液系统。

数据中心供配电系统架构



2N供电系统架构图

- 高压变配电系统：**主要是将市电6 kV/10 kV/35 kV（3相）通过该变压器转换成380 V/400 V（3相），供后级低压设备用电。**柴油发电机系统：**主要用作后备电源，一旦市电失电，迅速启动为后级低压设备提供备用电源。**自动转换开关系统：**主要是自动完成市电与市电或市电与柴油发电机之间的备用切换。**输入低压配电系统：**主要作用是电能分配，将前级的电能按照要求、标准与规范分配给各种类型的用电设备，如UPS、空调、照明设备等。**UPS系统：**主要作用是电能净化、电能后备，为IT负载提供纯净、可靠的用电保护。**UPS输出列头配电系统：**主要作用是UPS输出电能分配，将电能按照要求与标准分配给各种类型的IT设备。**机架配电系统：**主要作用是机架内的电能分配。此外，数据中心的供配电系统负责为空调系统、照明系统及其他系统提供电能的分配与输入，从而保证数据中心正常运行。

数据中心供配电系统要求



电能质量要求

名称		环境要求
供电电压允许偏差	35 kV及以上为正负偏差绝对值之和不超过10% 10 kV及以下三相供电为$\pm 7\%$ 220 V 单相供电为$+7\%$, -10%	衡量点为供用电产权分界处或电能计量点
电压允许波动和闪变	电压波动: 10 kV及以下为2.5% 35 kV~110 kV 为 2% 220 kV及以上为1.6% 闪变 ΔV_{10} : - 对照明要求较高, 0.4%(推荐值) - 一般照明负荷, 0.6%(推荐值)	- 衡量点为电网公共连接点(PCC),取实测 95%概率值 - 给出闪变电压限值和频度的关系曲线, 可以根据电压波动曲线查得允许值, 并给出算例 - 对测量方法和测量仪器做出基本规定
三相供电电压允许不平衡度	- 正常允许2%,短时不超过4% - 每个用户一般不得超过1.3%	- 各级电压要求一样 - 衡量点为PCC, 取实测 95%概率值或日累计超标不超过72 min, 且每30 min中超标不超过5 min - 对测量方法和测量仪器做出规定 - 提供不平衡度算法

数据中心监控与管理系统

- 通过软件、硬件和传感器对数据中心的物理环境以及IT设备、基础设施进行实时监控和管理。

监测

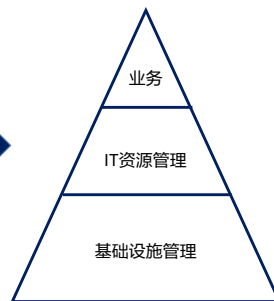
实时采集数据中心基础设施运行状态的关键信息。

管理
调整
控制

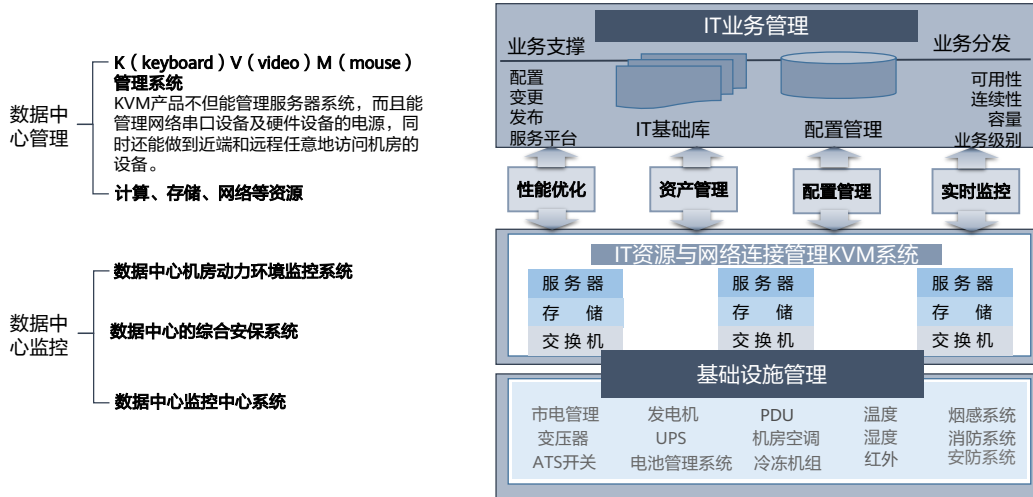
依据IT业务的使用策略，配置并动态调整计算和存储资源；依据计算和存储能源的配置使用状况，配置并动态调整供电和制冷资源、管理服务器集群的功耗。数据中心管理者可以采用合适的策略对整个数据中心的资源进行优化配置。

报表

依据数据中心业务管理的需要，建构和形成管理报表，通过对资源使用报表的分析，帮助用户梳理资源消耗的时间、地点等信息。如果这些问题由报表自动生成，那么管理者就有据可依，可以帮助他们更好地把握和选择最合适的资源使用策略。



数据中心监控与管理系统的构成



- 机房动力环境监控系统主要是对机房设备（如供配电系统、UPS电源、防雷器、空调、消防系统、保安门禁系统等）的运行状态、温度、湿度、洁净度、供电的电压、电流、频率、配电系统的开关状态、测漏系统等进行实时监控并记录历史数据，实现对机房遥测、遥信、遥控、遥调的管理功能，为机房高效的管理和安全运营提供有力的保证。由于许多重要机房是24小时不间断运行的，而管理人员很难保证时刻对机房情况进行监控，因此通过技术手段实现24小时不间断监控显得非常必要。机房动力环境监控系统通过通信和软件的集成，可以实现对机房环境和UPS、机房空调、发电机等设备的集中监视，并实时采集报警信息发送给相关的管理人员。
- 数据中心机房根据监控与管理的需要，一般会设置监控室、指挥调度室、总控中心等。以上功能区会涉及许多数据中心机房的弱电系统集成，主要包括监控中心显示系统、会议中控系统、公共广播系统等。

综合安保系统

- 数据中心安防系统主要包括视频监控、门禁系统和巡更系统。
- 视频监控：包括摄像部分，传输部分、控制部分、图像处理显示及记录等四大部分。
- 门禁系统：出入口管理（Access Control）系统，其主要功能是对什么人在什么时间进出哪个区域的门进行控制，也就是实现“何人、何地、何时”的管理。包括数据机房门禁，支持区门禁和各个区域的门禁。一般有刷卡、瞳孔、指纹等认证方式。
- 巡更系统：智能楼宇出入口多，进出人员复杂，为维护楼宇安全，必须由专人负责安全巡逻，主要的地方还需设巡更站，定时进行巡更。

各个系统之间能联动控制，一旦发生特殊情况，系统会立刻报警。

- 摄像部分的作用是把系统所监视的目标图像化以后再送入系统的传输部分。摄像部分的核心是摄像机，它是光电信号转换的主体设备，是整个系统的眼睛。摄像机的种类很多，不同的系统可以根据不同的使用目的选择不同的摄像机、镜头、滤色片等。
- 传输部分的作用是将摄像机输出的视频（有时也包括音频）信号馈送到中心机房或其他监视点。
- 控制中心的控制信号同样通过传输部分送到现场，以控制现场的云台和摄像机工作。传输部分主要包括馈线、视频电缆补偿器、视频放大器等设备，用于完成视频信号和控制信号的传递工作。控制部分的作用是在中心机房通过有关设备对系统的现场设备进行远距离遥控。控制部分包括控制器与相应的解码器、云台控制器、视频切换器等设备，完成电源的接通、关断、光圈大小、远距离、近距离（广角）变焦、水平旋转、垂直俯仰等遥控工作。
- 图像处理是指对系统传输的图像信号进行切换、记录、重放、加工和复制等。图像处理部分包括视频切换器、画面分割器等图像处理设备。使用图像处理设备后，可以用一个监视器监视多台摄像机信号，也可以在视频信号上添加字符、时间等附加信号。图像显示部分的主要作用是完成图像的实时监视、图像存储、图像重放等工作，包括各种显示器、各种录像机等设备。随着计算机技术的发展，图像处理、控制和记录多由计算机完成，计算机的硬盘代替了录像机，完成对图像的记录

数据中心机房监控与安全防范要求

- GB 50174—2017第十一部分分4个章节阐述了智能化系统，分别为“11.1 一般规定”“11.2 环境和设备监控系统”“11.3 安全防范系统”“11.4 总控中心”。该规范对机房环境和智能化系统提出了具体要求。核心要求是所有的机房设备和环境参量都应被监控，从而提升机房的安全性和可控性。

一般规定

举例：

- 数据中心应设置总控中心、环境和设备监控系统、安全防范系统、火灾自动报警系统、数据中心基础设施管理系统等智能化系统，各系统的设计应根据机房的等级，按本规范附录A执行
- 智能化系统应具备显示、记录、控制、报警、提示及趋势和能耗分析功能。

环境预设备监控系统

举例：设备监控系统宜对机电设备的运行状态、能耗进行监视、报警并记录。

安全防范系统

举例：安全防范系统宜由视频安防监控系统、入侵报警系统和出入口控制系统组成，各系统之间应具备联动控制功能。

总控中心

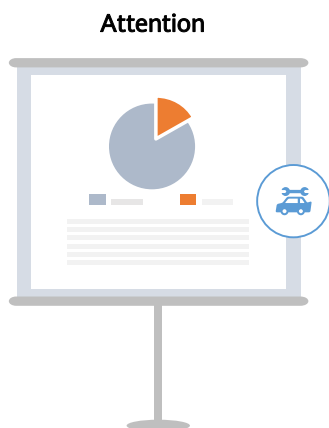
设置气体灭火系统的主机房，应配置专用空气呼吸器或氧气呼吸器。

机柜机架

- 机柜机架是数据中心为网络、服务器、存储等设备提供承载空间的基础设施，同时提供供电、通信布线、散热支撑。目前一般较多采用标准机柜（19英寸），也有客户定制化机柜。

机柜参数（标准）	参数说明
常见机柜高度	12 U、14 U、18 U、22 U、27 U、32 U、37 U、42 U
常用机柜宽度	插箱面板：482.6 mm；服务器机柜：600 mm；网络机柜：800 mm
常见机柜深度	600 mm、800 mm、960 mm、1000 mm、1100 mm、1200 mm
常用材质	高强度A级优质碳素冷轧钢板和镀锌板
主要附件	盲板：1 U/2 U，不得有明显间隙；L型支架：具备一定承重能力，要求有防止变形措施；导轨：具备一定承重能力，受力后折弯角度不应大于90度

数据中心机柜与机架要求



01

尺寸及承重保证

具备良好的承重能力。

举例：

服务器机柜：承重大于800公斤

网络机柜：承重大于500公斤

02

温度控制系统

机柜内部有良好的温度控制系统，可避免机柜内产品的过热或过冷。

03

抗干扰能力

具备防尘、防水或电子屏蔽等高度抗扰性能。

04

线缆管理

提供充足的线缆通道，能从机柜顶部、底部进出线缆。线缆铺设方便、有序，与设备的线缆接口靠近，保证散热气流不会受到线缆的阻挡。

05

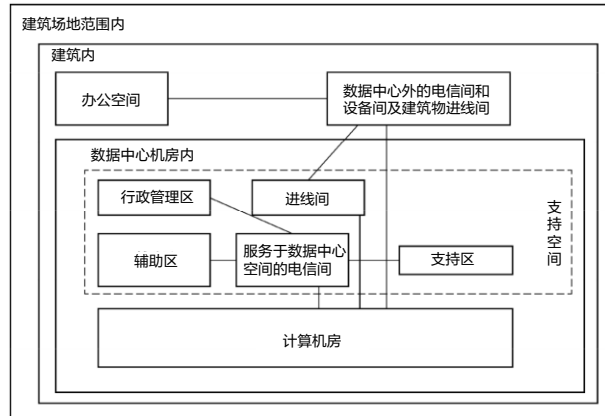
配电系统

机柜电源分配系统应具备高可靠性设计、便于维护。机柜的配电系统，应使电源更接近负载，以减少电源通路中的故障点。

综合布线系统

- 综合布线系统是通信电缆、光缆、各种软电缆及有关连接硬件构成的通用布线系统，它能支持多种应用系统。

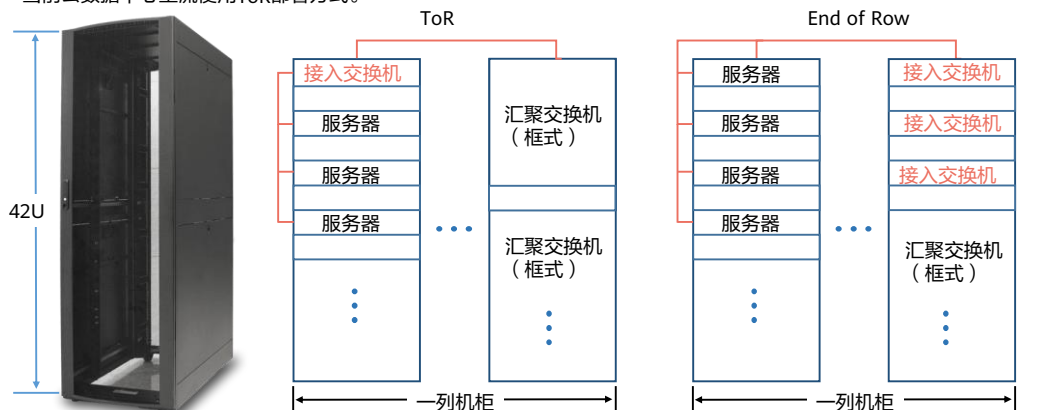
数据中心的综合布线系统是数据中心通信的基础，它为数据中心的通信系统、计算机网络系统及自动化管理提供通信路由和路由管理，非常关键。可分为光纤布线系统和铜缆布线系统。



- 由于各国产品类型不同，综合布线系统的定义是有差异的。通信行业标准《大楼通信综合布线系统 第1部分：总规范》（YD/T 926.1—2009）中，对综合布线系统的定义为：“通信电缆、光缆、各种软电缆及有关连接硬件构成的通用布线系统，它能支持多种应用系统。即使用户尚未确定具体的应用系统，也可进行布线系统的设计和安装。综合布线系统中不包括应用的各种设备。”目前所说的建筑物与建筑群综合布线系统，简称综合布线系统，是指一幢建筑物内（或综合性建筑物）或建筑群体中的信息传输介质系统。综合布线系统将相同或相似的缆线（如对绞线、同轴电缆或光缆）、连接硬件组合在一套标准的且通用的、按一定秩序和内部关系而集成为整体，因此，目前它是以通信自动化为主的综合布线系统。今后随着科学技术的发展会逐步提高和完善，形成能真正充分满足智能化建筑所需的要求。

综合布线重要概念

- 数据中心综合布线有三个重要概念，ToR（Top of Rack），EoR（End of Row）和MoR（Middle of Row）。
- 当前云数据中心主流使用ToR部署方式。



- 常用的数据中心标准机柜为42U（Units），每U的宽度为4.445厘米。
- ToR（Top of Rack）：ToR交换机部署在机柜的顶部，机柜内的服务器通过光纤或网线接入到交换机中。交换机再上联至上层的汇聚交换机。该方案适用于接入设备较多或单柜设备密度高的情况。通过分布式的接入，可以减少服务器机柜到网络机柜之间的连线，连线管理简单。但同时，接入交换机分散在多个机柜，不利于交换机的集中维护与管理。在云数据中心较为常见。
- EoR（End of Row）：EoR交换机指的是将接入交换机集中部署在每一列机柜末端的一个或两个机柜。该列机柜所有的服务器通过水平走线接入到交换机中。这种情况在传统数据中心较为常见。采用EoR的方式进行连线，将会有大量的线缆连接从多个服务器机柜汇聚到网络机柜中，连线管理困难，但交换机的集中维护与管理方便。
- MoR（Middle of Row）：MoR交换机的连线方式与EoR方式类似，接入交换机都通过集中的方式部署在一列机柜组中一个或两个机柜中，只是网络柜的位置在机柜组的中部。这种情况，服务器机柜到网络柜的连线比较于EoR稍微简化，同时交换机也进行了集中管理，为ToR与EoR方式的一种折中方案。

数据中心布线系统要求

数据中心项目	A级DC要求	B级DC要求	C级DC要求
承担数据业务的主干和水平子系统	OM3/OM4多模光缆、单模光缆或6A类以上对绞电缆，主干和水平子系统均应冗余	OM3/OM4多模光缆、单模光缆或6A类以上对绞电缆，主干系统均应冗余	—
进线间	不少于2个	不少于1个	1个
智能布线管理系统	宜	可	—
线缆标识系统	应在线缆两端打上标签	配电电缆宜采用线缆标识系统	—
在隐蔽通风空间敷设的通信线缆防火要求	应采用CMP级或低烟无卤阻燃电缆，OFNP或OFCP级光缆（也可采用同等级的其他电缆/光缆）	—	—
公用电信配线网络接口	2个以上	2个	1个

讨论与总结



任务一

我们经常说的数据中心的“风火水电”分别代指什么？请讨论并描述。

任务二

大家遇到的数据中心有什么样的基础场地设施呢？请讨论并描述。

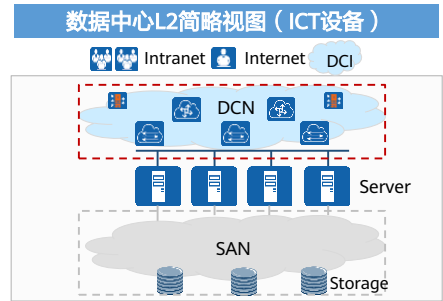
任务三

数据中心建设的时候还有哪些要求和注意点呢？请讨论并描述。

目录

1. 数据中心简介
2. 数据中心分类
3. 数据中心场地基础设施
- 4. 数据中心ICT基础设施**

数据中心ICT基础设施概览



1、计算设备

服务器

- FusionServer Pro 智能服务器
- TaiShan服务器
-

2、存储设备

SAN存储

分布式存储

• • •

- OceanStor Dorado 全闪存存储
- OceanStor 混合闪存存储
-

3、网络设备

路由器

交换机

防火墙

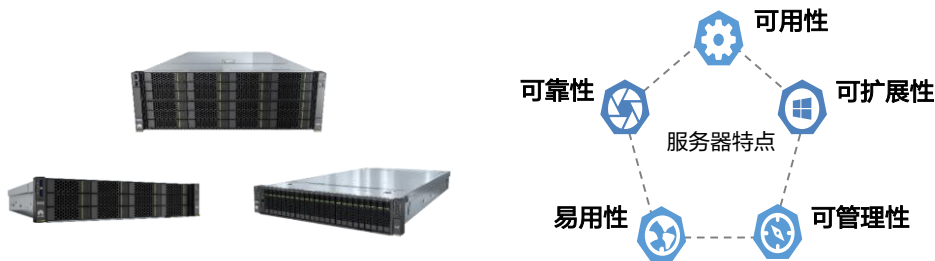
负载均衡

• • •

服务器定义和特点

- 服务器定义：

- 服务器是计算机的一种。它比普通计算机运行速度更快、负载更高且价格更高。
- 服务器是为用户提供服务的计算机，通常分为文件服务器、数据库服务器和应用程序服务器。
- 服务器的结构与普通桌面 PC 相似，由主板、处理器、硬盘、内存等组成。



- 服务器是20世纪90年代迅速发展主流计算产品，能为网络用户提供集中计算、信息发布及数据管理等服务，也可以将与其相连的如硬盘、打印机、Modem等各种专用通讯设备给网络上的用户进行共享。
- 服务器的主要特点包括：
 - R: Reliability—可靠性，能连续正常运行多长时间；
 - A: Availability—可用性，系统正常运行时间和使用时间的百分比；
 - S: Scalability—可扩展性，包括两方面，一方面是硬件的可扩展性，另一方面是软件对操作系统的支持能力；
 - U: Usability—易用性，服务器的硬件和软件易于维护和修复；
 - M: Manageability—可管理性，对服务器运行情况能进行监控，报警，对一些故障的自动智能化处理。

服务器的分类

分类依据	环境要求
按照硬件形态划分	大型机
	小型机
	塔式
	机架式
	刀片式
按照服务规模划分	入门级
	工作组
	部门级
	企业级
按照处理器架构划分	CISC架构服务器
	RISC架构服务器

数据中心常用华为服务器

计算

存储

网络

解决方案

HPC

行业化场景解决方案

云平台

大数据

昇腾全栈AI软硬件平台



Atlas 200DK
开发者套件



Atlas 200
AI加速模块



Atlas 300I
推理卡



Atlas 500
智能小站



Atlas 500 Pro
智能边缘服务器



Atlas 800I A3
推理服务器



Atlas 800T A3
训练服务器



Atlas 900 A3
SuperPoD

鲲鹏计算平台

鲲鹏主板



鲲鹏服务器主板



TaiShan 100
2280均衡型



TaiShan 200
2280均衡型



TaiShan 200
5280存储型



TaiShan 200
2480高性能型

TaiShan服务器

超融合一体机

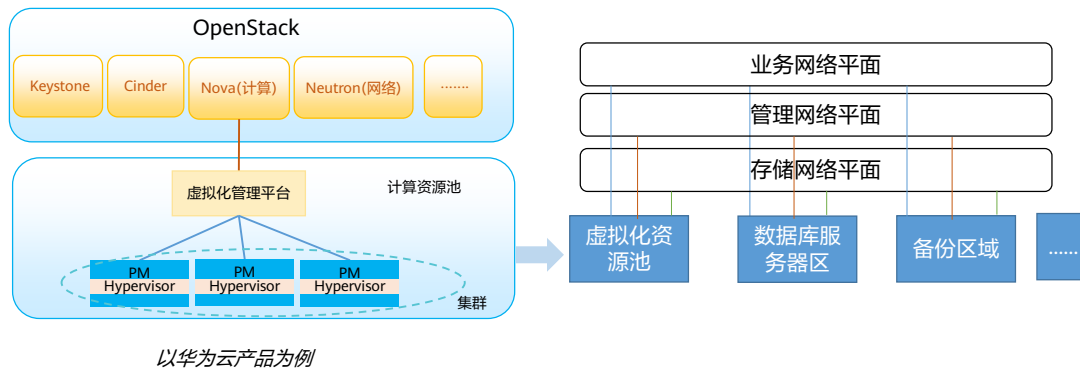
FusionCube



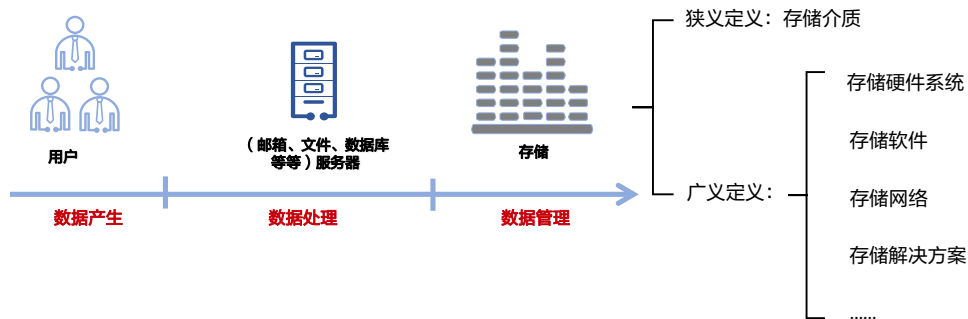
FusionCube 1000
FusionCube 1000 (鲲鹏)

数据中心主机总体架构

- 服务器是云数据中心使用的计算节点。
- 数据中心计算资源架构所示：



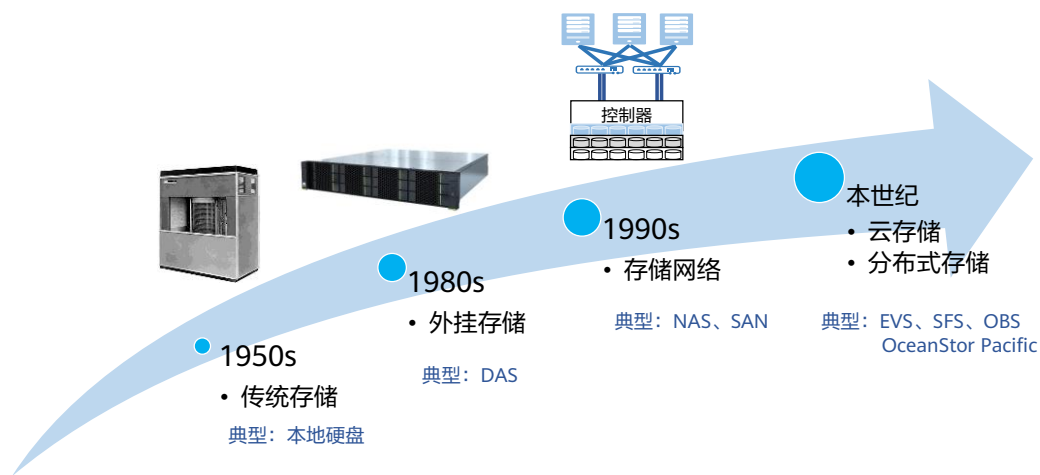
什么是存储



- 狭义的存储定义：CD、DVD、ZIP，磁带，硬盘等存储介质
- 广义的存储定义：
 - 存储硬件系统（磁盘阵列，控制器，磁盘柜，磁带库等）
 - 存储软件（备份软件，管理软件，快照，复制等增值软件）
 - 存储网络（HBA卡，光纤交换机，FC/SAS线缆等）
 - 存储解决方案（集中存储，归档，备份，容灾等）

存储发展里程碑

计算 存储 网络

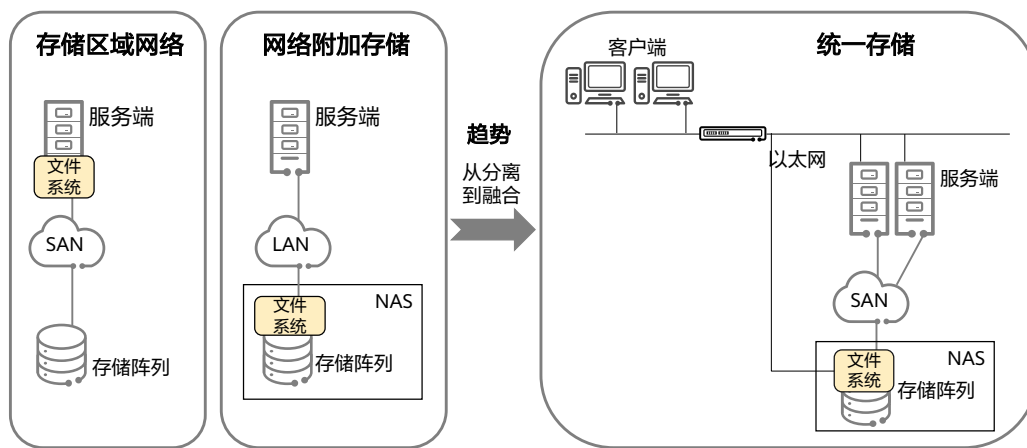


66 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.



- 存储架构的发展历程经历了传统存储、外挂存储、存储网络、分布式存储和云存储几个阶段。
- 传统存储是由单硬盘组成，1956年IBM发明了世界上第一块机械硬盘，这个硬盘有50个24英寸盘片，容量只有5 MB。体积与两台冰箱差不多大，重量超过一吨。被用于当时的工业领域，且独立于主机以外。
- 外挂存储即直连存储，最早的形态是JBOD，仅仅是将一些磁盘串联在一起，被称为JBOD（Just a Bunch Of Disks，磁盘簇），主机看到的就是一堆独立的硬盘，只增加了容量，无法提供安全保障。
- SAN是典型的存储网络，主要使用FC网络传输数据，随后出现了IP存储区域网络。
- 分布式存储采用通用服务器硬件构建存储资源池，更适合云计算的场景。

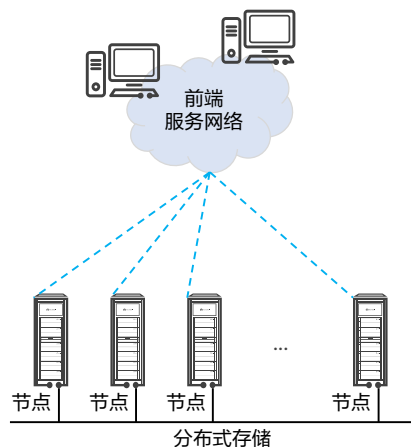
典型集中式存储



- SAN (Storage Area Network) 和 NAS (Network Attached Storage) 都是常见的存储解决方案。
- SAN 是一种独立于服务器的存储网络，它通过高速连接将存储设备（如磁盘阵列、磁带库等）与多台服务器连接起来，形成一个高性能、高可用性的存储环境。SAN 通常采用光纤通道技术（Fibre Channel）或以太网技术，使存储设备能够以块级方式对外提供数据。
- NAS 是一种网络存储设备，通常作为独立的硬件设备，也可以是运行在专用硬件或虚拟化环境下的软件。NAS 设备连接到网络，通过网络协议（如 NFS、SMB/CIFS 等）为用户提供文件级别的数据访问。用户可以通过 LAN 或 WAN 访问 NAS 设备上的共享文件，就像访问本地硬盘上的文件一样。

分布式存储

- 分布式存储是一种数据存储技术，通过网络使用每台机器上的磁盘空间，并将这些分散的存储资源构成一个虚拟的存储设备，数据分散的存储在企业的各个角落。通过软件将物理资源组织起来构成高性能逻辑存储池，在保证可靠性的同时提供多种存储服务。
- 一般而言，分布式存储会将数据分散存储在多台独立的设备上，采用可扩展的系统结构、利用多台存储服务器分担存储负荷、利用位置服务器定位存储信息。



超融合存储

- 超融合存储是一种集成了计算、存储和网络功能的存储解决方案。它将传统的存储设备、服务器和网络设备整合在一起，形成一个统一的、可扩展的存储基础架构。超融合简化了存储系统的管理和维护工作，提高了系统的性能和可用性，同时节省了空间和成本。



数据中心常用华为存储设备

计算 存储 网络

解决方案



视频云



企业应用加速



备份

数据管理

智能运维



eService

数据管理引擎



DME

设备管理



DeviceManager

存储产品

全闪存存储

高端：
OceanStor Dorado 8000/18000
OceanStor Dorado 5000/6000
中端：
OceanStor Dorado 3000

AI存储

高端：
OceanStor A800
中端：
OceanStor A600

混合闪存存储

高端：
OceanStor 6810/18510/18810
中端：
OceanStor 5310/5510/5610

分布式存储

性能型：
OceanStor Pacific 9928/9926/9920
归档型：
OceanStor Pacific 9150/9146

...

典型应用

关键业务加速

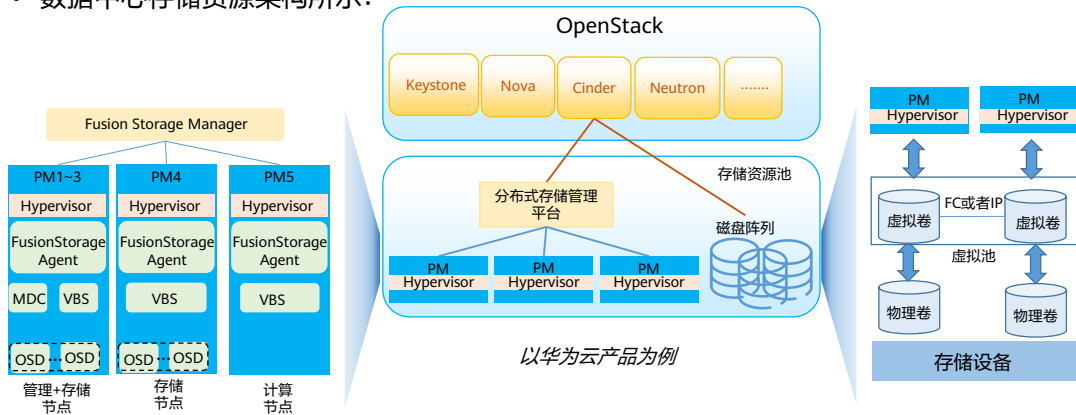
高性能分布式文件
存储专为AI而生，
一套存储满足AI训
推全流程数据处理
需求

可实现SAN&NAS融合
支持多业务场景：
云计算、社交、大数据、
容灾/备份

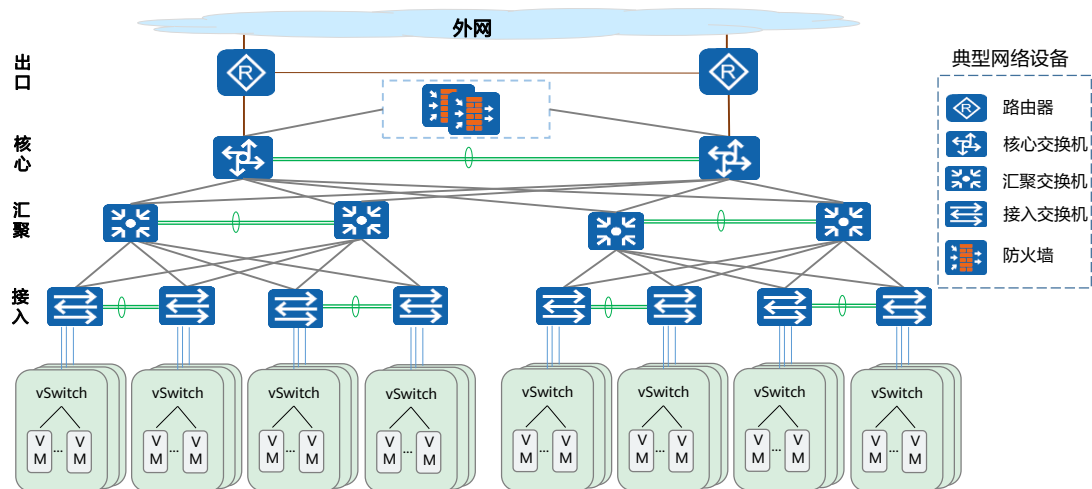
高性能计算、
虚拟化/云资源池、
对象资源池、
大数据存算分离

数据中心存储总体架构

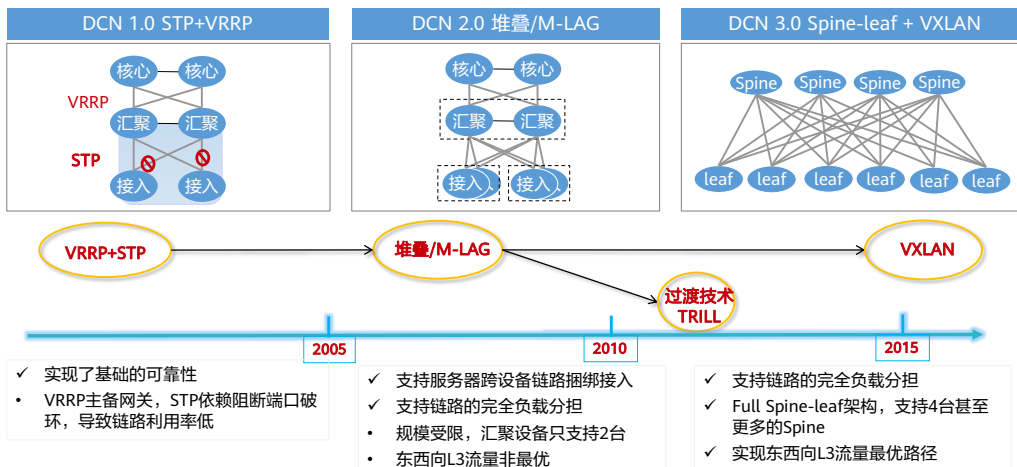
- 数据中心存储资源架构所示：



数据中心典型网络架构

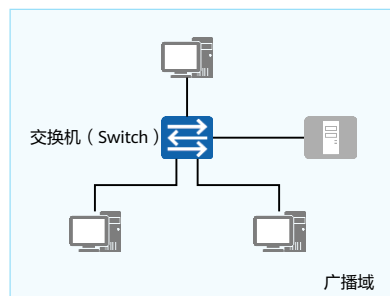


数据中心网络架构演进



交换机简介

- 交换机：距离终端用户最近的设备，用于终端用户接入网络、对数据帧进行交换等。
 - 实现终端设备（PC、服务器等）的网络接入
 - 隔离冲突域
 - 广播转发未知报文
 - MAC地址学习、维护MAC地址表
 - 基于MAC地址表转发报文

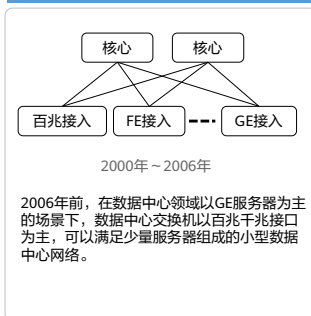


- 交换机：
 - 在园区网络中，交换机一般来说是距离终端用户最近的设备，接入层的交换机一般为二层交换机，又称为以太网交换机，二层是指TCP/IP参考模型的数据链路层。
 - 以太网交换机可以实现：数据帧的交换、终端用户设备的接入、基本的接入安全功能、二层链路的冗余等。
 - 广播域：一个节点发送一个广播报文其余节点都能够收到的节点的集合。
 - 冲突域：在同一个网络上两个设备同时进行传输会产生冲突，在网络报文转发中产生与发生冲突的区域称为冲突域。
 - MAC（Media Access Control）地址：在网络中唯一标识一个网卡，每个网卡都需要且有唯一的一个MAC地址。
 - MAC地址表：每台交换机中都有一个MAC地址表，存放了MAC地址与交换机端口编号之间的映射关系。

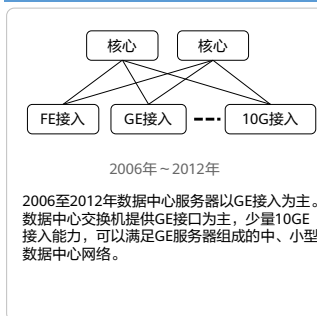
数据中心交换机发展阶段

- 数据中心交换机一般指硬件交换机。它的发展经历了以下三个发展阶段：阶段一使用FE汇聚和GE上行接口；阶段二使用GE汇聚和10GE上行；目前已经演进到阶段三，使用10GE/40GE汇聚，100GE上行。

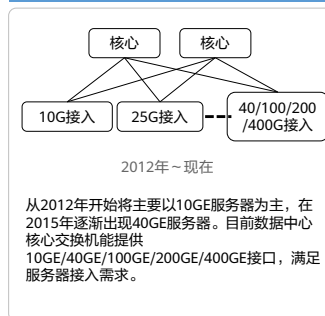
阶段一，高密FE/GE接入汇聚，少量10GE上行



阶段二，高密GE/10GE接入汇聚，少量10GE/40GE上行



阶段三，高密10GE/25GE/40GE/100GE/200GE/400GE接入汇聚，灵活选择端口



华为数据中心交换机

- CloudEngine数据中心交换机是华为推出的专门面向数据中心场景的高性能交换机，旨在提供构建弹性、虚拟、敏捷、智能和高品质网络的能力。

通算核心/汇聚交换机



CloudEngine 16800系列
CloudEngine 9800系列
CloudEngine 8800系列

通算接入交换机



CloudEngine 6800系列
CloudEngine 5800系列
数据中心典型存储网络交换机：
CloudEngine 6885-SAN-56F
CloudEngine 6860-SAN
CloudEngine 8850-SAN
CloudEngine 8865-SAN-4C

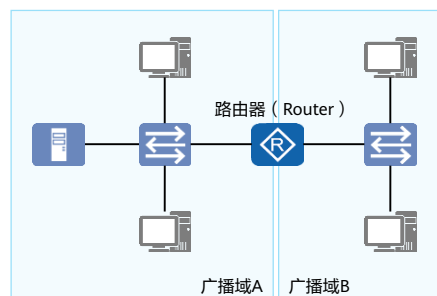
智算交换机



面向AI场景：
CloudEngine XH16800系列
CloudEngine XH9000系列

路由器

- 路由器：网络层设备，可以在因特网中进行数据报文转发。路由器根据所收到的报文的目地址选择一条合适的路径，将报文传送到下一个路由器或目的地，路径中最后的路由器负责将报文送交目的主机。
 - 实现同类型网络或异种网络之间的通信
 - 隔离广播域
 - 维护路由表（Routing Table）、运行路由协议
 - 路径（路由信息）选择、IP报文转发
 - 广域网接入、网络地址转换
 - 连接通过交换机组建的二层网络



- 路由器：
 - 路由器工作在TCP/IP参考模型的网络层；
 - 路由器可以实现：维护路由表和路由信息、路由发现及路径选择、数据转发、隔离广播域、广域网接入和网络地址转换及特定的安全功能。

华为路由器

计算

存储

网络

广域网络路由器



NetEngine 8000系列:

满足核心、汇聚、接入等不同的网络场景，应用于企业广域网核心节点、大型企业接入节点、DC互联、园区和各种大型IDC网络出口。

NetEngine A800 E云终端路由器:

用于企业快速接入网络

NetEngine 40E系列:

应用于企业广域网核心节点、大型企业接入节点、DC互联、园区和各种大型IDC网络出口。

分支互联路由器



NetEngine AR8000系列:

应用于SD-WAN解决方案场景，可广泛部署于大中型园区网出口、大中型企业总部或分支等场景。

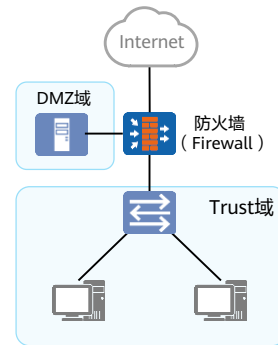
NetEngine AR6700系列

NetEngine AR8000系列:

融合路由、交换、安全、无线等功能于一体，可广泛部署于大中型园区网出口、大中型企业总部或分支等场景。

防火墙

- 防火墙：网络安全设备，用于控制两个网络之间的安全通信。它通过监测、限制、更改跨越防火墙的数据流，尽可能地对外部屏蔽网络内部的信息、结构和运行状况，以此来实现对网络的安全保护。
 - 隔离不同安全级别的网络
 - 实现不同安全级别的网络之间的访问控制（安全策略）
 - 用户身份认证
 - 实现远程接入功能
 - 实现数据加密及虚拟专用网业务
 - 执行网络地址转换
 - 其他安全功能



- 防火墙：
 - 是位于两个信任程度不同的网络之间（如企业内部网络和Internet之间）的设备，它对两个网络之间的通信进行控制，通过强制实施统一的安全策略，防止对重要信息资源的非法存取和访问，以达到保护系统安全的目的。

华为防火墙

- 华为HiSecEngine系列防火墙定位于保护云服务提供商、大型数据中心以及大型企业园区的网络业务安全，可提供高达T级的处理性能，集成NAT、VPN、虚拟化、多种安全特性，可靠性高达99.999%。



HiSecEngine USG6700E
系列AI防火墙(盒式)

在提供NGFW能力的基础上，联动其他安全设备，主动防御网络威胁，增强边界检测能力，有效防御高级威胁，同时解决性能下降问题。

广泛适用于金融、政府、大企业等行业。



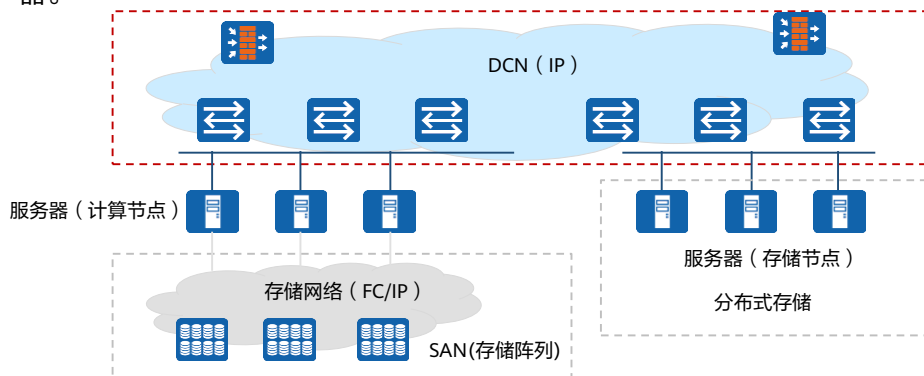
HiSecEngine USG12000
系列AI防火墙

华为推出的首款T级AI防火墙，在网络边界实时防护已知与未知威胁，通常部署在云计算数据中心，大型企业及园区网出口，为数据中心、企业及园区网络提供领先的安全防护能力。

广泛适用于金融、政府、大企业等行业。

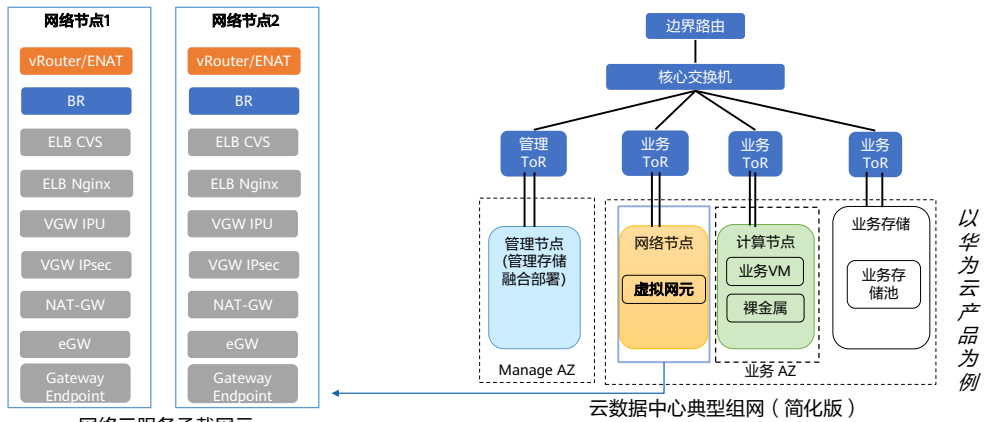
数据中心典型组网

- 一个典型的数据中心组网包括，数据中心网络（DCN）、存储区域网络（SAN）、服务器。



- 数据中心网络（DCN）：提供数据中心内部计算单元之间互联、数据中心内部计算单元和外部出口之间互联的网络。
- 存储区域网络（Storage Area Network，SAN）：一般是由存储阵列和光纤交换机组成的存储网络，用于提供块存储（Block Storage）。存储网络使用FC协议的叫做FC SAN，使用IP协议的叫做IP SAN。
- 分布式存储：分布式存储的部署形态和阵列不同。它将数据分散存储在多台独立的服务器（存储节点）上。一般也用作云存储。
- 服务器（计算节点）：用于提供计算服务的服务器。

云数据中心典型网络逻辑架构

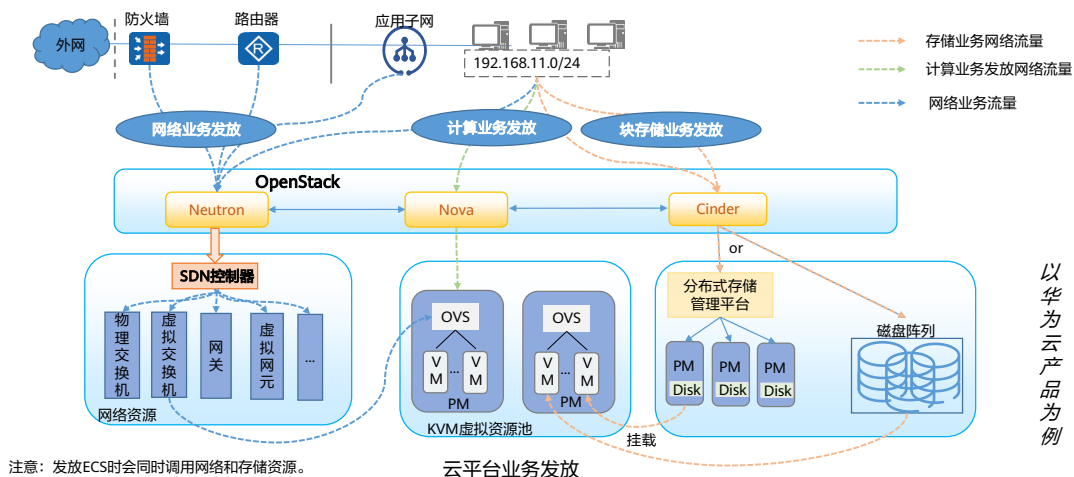


网络云服务承载网元

- 1、网络业务功能部署跟物理位置解耦，支持灵活部署。
- 2、vRouter/BR必选部署。

云数据中心可分为管理区域和业务区域。网络节点使用业务AZ，大部分网络云服务可通过网络节点上的虚拟承载网元实现。

云数据中心业务发放流程



83 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.



- 网络业务发放主要指代用户使用网络云服务。计算业务发放主要指代用户使用计算云服务。存储业务发放主要指代用户使用存储云服务。

思考题

1. （单选题）以下关于现今对数据中心需求的描述，错误的是哪一项？
- A. 高密度
 - B. 高延展性
 - C. 高度结构化
 - D. 高灵活性

- 答案：C

思考题

2. （多选题）以下关于数据中心的描述，正确的是哪些项？
- A. 数据中心需要网络安全建设，包括防火墙、安全网闸、入侵检测、漏洞扫描、防病毒、安全网关、签名验证和信息安全综合监控与管理平台建设等
 - B. 数据中心的稳定运行应当始终处于优先考虑的等级
 - C. 考虑到未来业务量扩展，数据中心必须采用最高容量的设计标准
 - D. 数据中心供电系统由市电电源、备用电源（备用市电、备用发电机）、低压配电系统、UPS系统（包含电池）、机柜专用配电等子系统构成

- 答案：ABD

本章总结

- 本章主要介绍了数据中心的定义、发展历程以及常见分类方式，并且介绍了数据中心的架构、基础设施以及ICT设备。其中重点介绍了数据中心L0~L4分层模型，数据中心典型功能架构，数据中心典型场地基础设施功能及实践要求以及数据中心ICT中的计算、存储、网络基础设施。

学习推荐

- 数据中心产品组合方案: <https://e.huawei.com/cn/solutions/data-center>

Thank you.

把数字世界带入每个人、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界。

Bring digital to every person, home, and
organization for a fully connected,
intelligent world.

版权所有 © 华为技术有限公司 2026。

保留一切权利。

未经华为事先书面许可，任何人不得对本资料进行复制、修改、
整合、改编、翻译，也不得将本资料或其任何部分或基于本资
料的衍生作品提供、出售、转让、再许可给任何人用于华为
许可以外的任何其他用途。

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2025.

All Rights Reserved.

Without prior written permission of Huawei, no one is
allowed to reproduce, modify, integrate, adapt, translate
this Document, or provide, sell, transfer, sublicense this
Document or any part of this Document or its derivative to
any third party for any other purpose otherwise permitted
by Huawei.



计算集群技术



前言

- 近来，新兴的算力场景不断涌现带来了大量异构计算的需求，单一服务器计算架构已无法满足算力多样性的场景。除此以外，单机架构下业务系统的稳定性与可靠性也很难得到保障，集群技术的使用则可以很好地实现业务系统的高性能和高可用性。
- 本章节将主要介绍集群中不同集群类型下典型的集群技术，包括集群中常用软件如Heartbeat、Keepalived、LVS、Nginx和HAProxy的功能原理。

目标

- 学完本课程后，您将能够：
 - 了解集群技术的发展；
 - 了解常见的集群分类；
 - 理解集群中用到的关键技术。

目录

1. 计算集群介绍
2. 计算集群分类
3. 计算集群关键技术

单一物理设备的局限性

设备维护影响业务

在设备维护期间业务处于关闭状态，导致业务中断。

资源利用率低

业务独占整个设备系统，在业务空闲时设备资源闲置，导致资源利用率低。

业务上线周期长

单一架构应用高度耦合，业务系统需要各模块功能ready才能够正常运行。



单机架构下业务运行的问题

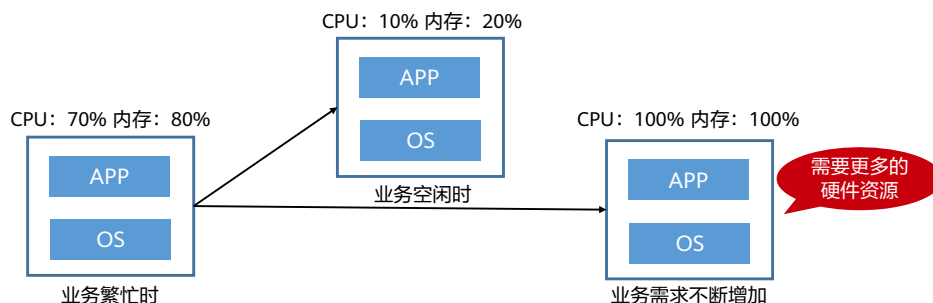
- 在单机架构中，单点故障问题直接影响业务的正常运行。除应用故障以外，如服务器宕机、硬盘损坏等问题都会导致业务不可用，甚至导致业务数据丢失。



- 单机架构：一个业务量很小的系统，所有的代码都放在一个项目中，然后这个项目部署在一台服务器上。整个项目所有的服务都由这台服务器提供，这就是单机结构。
- 服务可用性差
 - 单机部署只有一个节点提供服务，如果服务进程挂掉或服务器宕机导致服务不可用，将会影响用户的正常使用，如果服务重新上线的时间很长，将会严重影响公司业务开展，对于下单等常规业务带来的损失无法估量。这个问题就是我们常说的单点故障。

业务资源使用的问题

- 单机架构下，业务集中于单台服务器中。当业务空闲时服务器的性能则会闲置出来，资源闲置大大降低了服务器的资源利用率。
- 随着需求的增长，单一设备难以扩展来满足更高的性能要求。

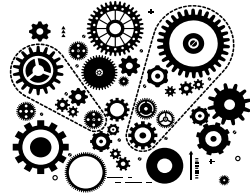


- 服务性能存在瓶颈
 - 单机所能承载的读写压力、请求数都是有限的，当系统业务增长到一定程度的时候，单机的硬件资源将无法满足不同业务需求，增加服务器配置所带来的性能提升与昂贵的成本不成正比，性价比不高。
- 不可伸缩性
 - 单体架构的弊端之一就是伸缩性不强。随着需求和负荷的增长，单体架构的性能满足不了现有需求时，增加服务器资源的手段收效甚微，服务的性能可扩展性低是单体架构的致命缺点。

应用开发在单机架构中的问题

- 将应用所有组件和功能都集中在一个单一的物理服务器中，这样也带来了诸多问题：
 - 部署难度：由于所有功能都集成在一个应用中，每次更新都需要重新部署整个应用，这导致部署过程复杂且耗时。
 - 开发周期长：在单机架构中，应用开发过程中多个团队需要同时修改同一个代码库，会导致代码冲突和合并问题，影响团队协作的效率。
 - 牵一发而动全身。

单机架构

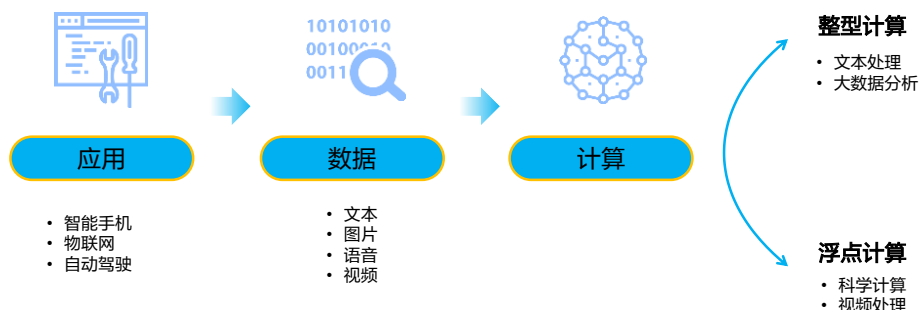


- 紧耦合
- 系统复杂、错综交互，牵一发而动全身
- 重复制造各种轮子：OS、DB、Middleware
- 完全封闭的架构

- 代码量庞大，系统臃肿，牵一发动全身。

新兴场景下的新需求

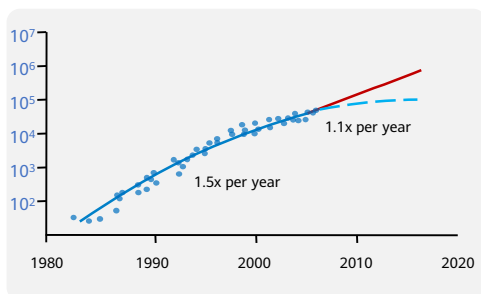
- 多样化数据需求的产生带动了新兴的算力场景的出现，单一的计算架构已无法满足所有计算场景。



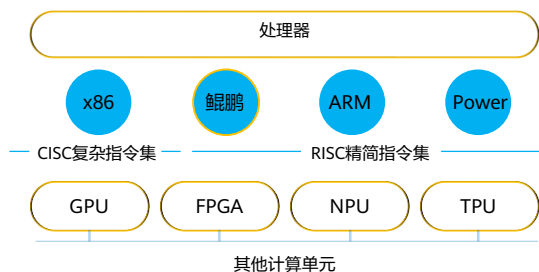
- 应用和数据的多样性需要新的计算架构。
- 未来信息量巨大，计算无处不在，计算应用的场景多种多样，从扫地机器人，到智能手机、智慧家庭、IoT物联网、智能驾驶等。场景的多样性，带来数据的多样性，数字、文本、图片、视频、图像以及结构化数据、非结构化数据等。
- 整型计算胜在文本处理、存储、大数据等；浮点计算胜在科学计算等。

多样性算力下的解决方案

重构摩尔定律



多种计算架构的组合是最优的解决路径



- 计算进入多样性时代，将带来大量异构计算的需求，没有一个单一的计算架构能够满足所有场景、所有数据类型的处理。
- GPU，源于图形处理的AI计算芯片。GPU（Graphics Processing Unit），即图形处理器，又称显示核心、视觉处理器、显示芯片，起初是一种专门在个人电脑、工作站、游戏机和一些移动设备（如平板电脑、智能手机等）上做图像和图形相关运算工作的微处理器，是一种由大量运算单元组成的大规模并行计算架构，专为同时处理多重任务而设计。
- FPGA 是一种半定制芯片。FPGA（Field - Programmable Gate Array），现场可编程门阵列，用户可以根据自身的需求进行重复编程。FPGA的优点是既解决了定制电路的不足，又克服了原有可编程器件门电路数有限的缺点，对芯片硬件层可以灵活编译，功耗小于CPU、GPU；缺点是硬件编程语言较难，开发门槛较高，芯片成本、价格较高。FPGA比GPU、CPU更快是因为其具有定制化的结构。
- 随着深度学习神经网络的兴起，CPU和GPU逐渐难以满足深度学习的需要，专门用于神经网络深度学习的处理器NPU(Neural Processing Unit)应运而生。NPU采用“数据驱动并行计算”的架构，特别擅长处理视频、图像类的海量多媒体数据。区别于CPU以及GPU所遵循的冯诺依曼架构，NPU参考人体的神经突触结构，将存储与运算结为一体。
- 多种计算架构共存的异构计算是最优的解决路径，将实现摩尔定律的重构，从而更好满足多业务多样性、数据多样性需求。

集群概念介绍

- 计算机集群（Computer Cluster）是一组松散或紧密连接在一起工作的计算机。由于这些计算机协同工作，在许多方面它们可以被视为单个系统。与网格计算机不同，计算机集群将每个节点设置为执行相同的任务，由软件控制和调度。
- 集群系统中的单个计算机通常称为节点，通常通过局域网连接，每个节点运行自己的操作系统实例。
- 部署计算机集群通常用来改进单台计算机的性能和可用性，相比单台计算机，集群所提供的性价比要高得多，集群计算可以用于解决计算量大的应用场景。

- 网格计算：基于网格的分布式计算的一种问题求解。它利用网络中的计算资源来解决某个科学问题或技术问题，该问题的解决需要大量的计算机处理能力或者需要访问大量的数据。
- 网格计算与集群计算的区别：网格与传统集群的主要差别是网格是连接一组相关并不信任的计算机，它的运作更像一个计算公共设施而不是一个独立的计算机。网格通常比集群支持更多不同类型的计算机集合。网格计算更侧重于利用网络中的闲置资源，通过动态分配资源来解决问题，而集群计算则更侧重于通过紧密协作提高计算效率。

集群技术优势



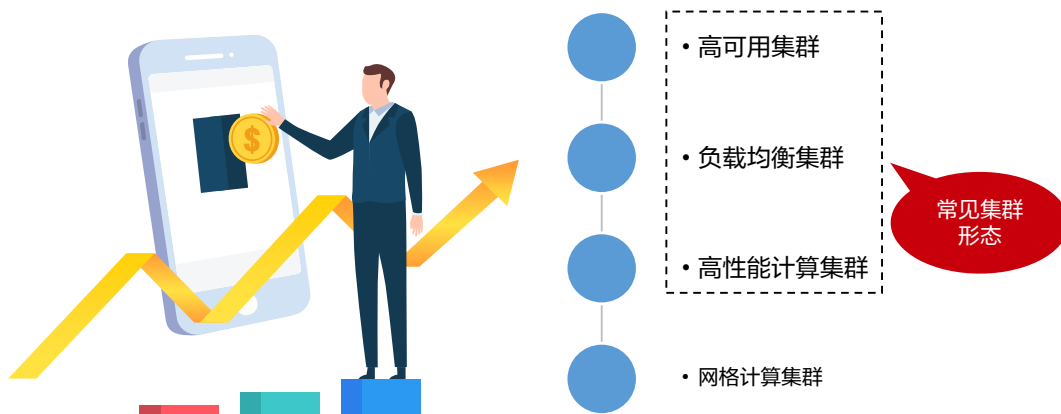
- **高可扩展性：**其他扩展技术，通常仅能支持几十个CPU的扩展，扩展能力有限，而采用集群技术的集群系统则可以扩展到包括成百上千个CPU的多台服务器，扩展能力具有明显优势。集群服务还可不断进行调整，以满足不断增长的应用需求。当集群的整体负荷超过集群的实际能力时，还可以添加额外的节点。
- **高可用性：**使用集群服务拥有整个集群系统资源的所有权，如磁盘驱动器和IP地址将自动地从有故障的服务器上转移到可用的服务器上。当集群中的系统或应用程序出现故障时，集群软件将在可用的服务器上重启失效的应用程序，或将失效节点上的工作分配到剩余的节点上。在切换过程中，用户只是觉得服务暂时停顿了一下。
- **高性能：**多台服务器同时处理某一类型业务，可以大幅度提升服务性能。
- **高性价比：**相比较于Scale-up 通过升级硬件的方式提升性能来看，集群可以用最普通的硬件通过堆叠，提供强大的服务能力，性价比高。

目录

1. 计算集群介绍
- 2. 计算集群分类**
3. 计算集群关键技术

集群形态介绍

- 集群计算机按功能和结构可以分为以下几类：



- 其中高可用集群、负载均衡集群和高性能集群比较常见。

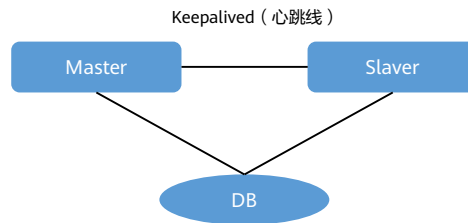
高可用集群介绍

- 高可用集群（High Availability Cluster，简称HA Cluster）用来保障应用持久、不间断地提供服务，当应用程序出现故障，或者系统硬件、网络出现故障时，应用可以自动快速的从一个节点切换到另一个节点。
- 双机热备是最简单的高可用集群，即经常说的Active/Standby方式。它使用两台服务器，一台做为主服务器（Active），运行应用程序对外提供服务；另一台做为备用服务器（Standby），安装和主服务器一样的应用程序，但并不启动服务，处于待机状态。主服务器和备用服务器之间通过心跳技术相互监控，监控的资源可以是网络、操作系统，也可以是服务，用户可以根据自己的需要选择监控的资源。当备用服务器监控到主服务器的某个资源出现故障时，根据预先设定好的策略进行主备切换。
- 高可用集群通过高可用软件来实现的，在Linux下常用的高可用软件有：开源Heartbeat、Keepalived、红帽提供的RHCS以及商业软件ROSE等。

- Keepalived
 - Keepalived是Linux中一个轻量级高可用集群部署软件，最初是为LVS设计的，后加入了VRRP功能，可以实现集群的心跳检测、虚拟IP漂移等功能。
- Heartbeat
 - Heartbeat的功能与Keepalived功能类似，但是不控制虚拟IP的漂移，相对Keepalived更擅长对资源服务的控制，配置也比较复杂。
- Pacemaker
 - Pacemaker是一款在Linux中应用非常广泛的开源集群资源管理器，它本身不具备集群心跳检测机制，需依赖Corosync或Heartbeat，可同时适用于任何规模的集群。

心跳

- 在高可用集群中，为确保集群的正常工作，每个节点需要知道其他节点的信息，我们将节点间状态感知过程称之为心跳，传递心跳信息的通路称之为心跳线。常见心跳线大多是串口线，也有通过以太网线等传递状态信息。



- 心跳：在高可用集群中，主机之间会相互监控彼此对方的状态，以决定哪台主机提供服务，这一机制称为心跳。

虚拟IP与IP漂移 (1)

虚拟IP



一个未分配给真实主机的IP地址，也就是说对外提供服务的主机除了有一个真实IP外还有一个虚IP。
在高可用集群中，虚拟IP会分配到主节点并对外提供服务，集群中所有对主节点服务的访问都通过访问虚拟IP实现。

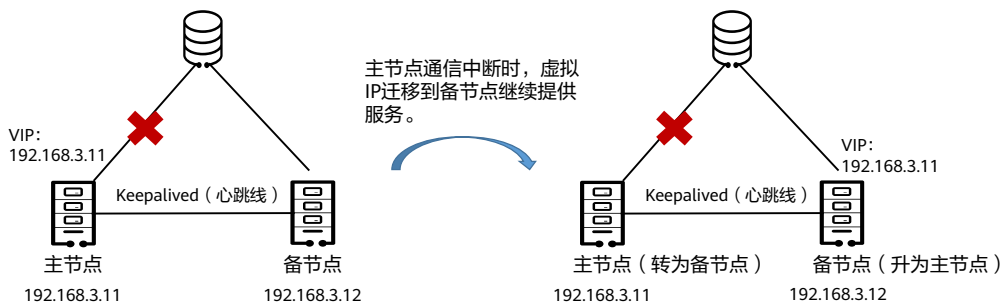


IP漂移

当HA集群中主节点出现异常时，可以将虚拟IP动态切换到备用节点，以便于继续提供工作，这个过程称之为IP漂移。

虚拟IP与IP漂移 (2)

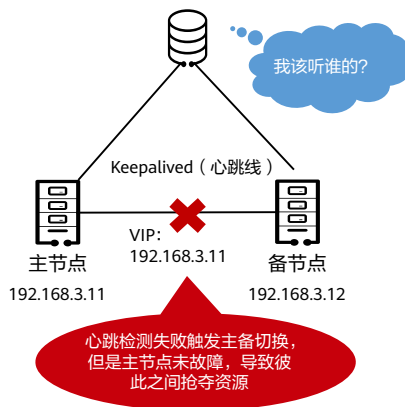
- 当高可用集群中进行主备切换时，实际是将虚拟IP迁移到备份节点并对外提供服务。
- 主备切换的判断条件有心跳检测失败、资源监测、服务监测、优先级设置以及事件触发等。



- 在高可用集群中，主备切换的判断条件通常依赖于系统的具体实现。以下是几种常见的判断条件：
 - 心跳检测失败：主服务器不再定期发送心跳信号到备服务器，导致备服务器认为主服务器失效，触发切换。
 - 资源监测：如果监测到某个关键资源不可用，如IP地址、共享存储等，也会触发切换。
 - 服务检测：如果主服务器上的某个关键服务失效（如Web服务器、数据库服务器等），可能触发切换。
 - 优先级设置：系统可能会根据服务器的优先级来决定进行切换。
 - 事件触发：如手动触发切换，或某个事件发生（如计划的维护时间）。
- 具体实现时，这些条件可能通过多种技术结合实施，如心跳检测可以通过CRM（集群资源管理器）实现，资源监测可以通过集群软件内置的资源代理实现，服务检测可以通过服务监控工具实现等。

脑裂

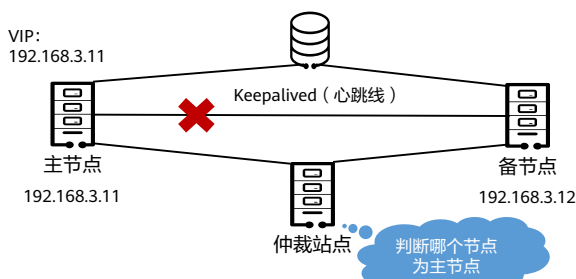
- 脑裂：如果节点之间的心跳通信中断或不正常，会导致彼此之间抢夺资源，这种现象称为脑裂。
- 发生脑裂后，会导致同一个服务在两端同时启动而发生冲突的严重问题，最严重的就是两台主机同时占用一个虚拟IP地址，当用户写入数据的时候可能会分别写入到两个服务器中，这样可能会导致服务器两端的数据不一致或造成数据的丢失。



- 一般来说，脑裂的发生，有以下几种原因：
 - 高可用服务器各节点之间心跳线链路发生故障，导致无法正常通信。
 - 因心跳线坏了（包括断了，老化）。
 - 因网卡及相关驱动坏了，IP配置及冲突问题（网卡直连）。
 - 因心跳线间连接的设备故障（网卡及交换机）。
 - 因仲裁的机器出问题（采用仲裁的方案）。
 - 高可用服务器上开启了iptables防火墙阻挡了心跳消息传输。
 - 高可用服务器上心跳网卡地址等信息配置不正确，导致发送心跳失败。
 - 其他服务配置不当等原因，如心跳方式不同，心跳广播冲突、软件Bug等。
- 防止脑裂发生的方法：
 - 同时使用串行电缆和以太网电缆连接，同时用两条心跳线路，这样一条线路坏了，另一个线路还是好的，依然能传送消息。
 - 检测到裂脑的时候强行的关闭一个心跳节点（需要特殊的节点支持，如stonith，fence），相当于程序上备节点发现心跳线故障，发送关机命令到主节点。
 - 增加仲裁的机制，确定谁该获得资源。

仲裁机制

- 为防止脑裂的发生，集群中引入了一个新的机制——仲裁，类似于裁判，当发生脑裂时，仲裁机制将决定由哪个节点继续工作。
- 仲裁机制判断依据：
 - 设置参考IP，在心跳断开时各节点ping参考IP，从而判断主节点。
 - 第三方软件仲裁哪个节点成为主节点。



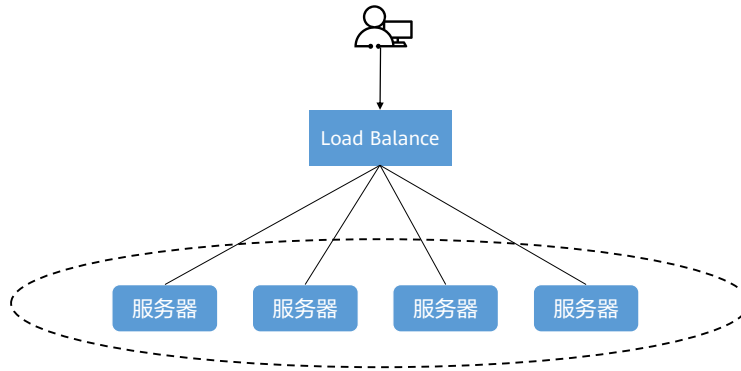
- 仲裁机制判断说明：
 - 增加一个仲裁机制。例如设置参考的IP，当心跳完全断开的时候，2个节点各自都ping一下参考的IP，不通则表明断点就出现在本段，这样就主动放弃竞争，让能够ping通参考IP的一端去接管服务。
 - 第三方软件仲裁，如zookeeper使用多数派法定人数（ Majority Quorum ）机制来保证系统的一致性和容错性。其仲裁核心机制包括：
 - Leader选举：使用ZAB协议，在集群启动或Leader崩溃时，所有节点参与选举新的Leader。达成多数派法定人数后，选举出新的Leader。
 - 写请求处理：所有写请求都由Leader处理，Leader将提案（ Proposal ）广播给所有Follower。超过半数的Follower接受提案后，Leader提交事务并通知所有 Follower。
 - 读请求处理：读请求可以由任意节点处理，直接返回最新的数据。

负载均衡集群介绍

- 负载均衡集群（Load Balance Cluster，简称为LB Cluster）由两台或两台以上服务器组成，分为前端负载调度和后端节点服务两个部分，负载调度部分负责把客户端的请求按照不同的策略分配给后端服务节点，而后端节点是真正提供服务的部分。
- 与高可用集群不同的是，在负载均衡集群中，所有的后端节点都处于活动状态，它们对外提供服务，分摊整个系统的工作负载。
- 负载均衡集群可以把一个高负载的应用分散到多个节点来共同完成，适用于业务繁忙、高负载的应用系统。但其也有不足之处：当一个后端节点出现故障时，前端调度系统并不知道此节点已经无法提供服务，仍然会将客户端的请求调度到故障节点上，从而导致访问失败。
- 为了解决以上问题，负载均衡集群通常会引入节点监控系统。节点监控系统部署在前端负载调度机上，负责监控后端节点。当某个节点故障后，节点监控系统会自动将故障节点从集群中剔除，当故障节点恢复正常后，节点监控系统会自动将其加入集群。

负载均衡架构说明

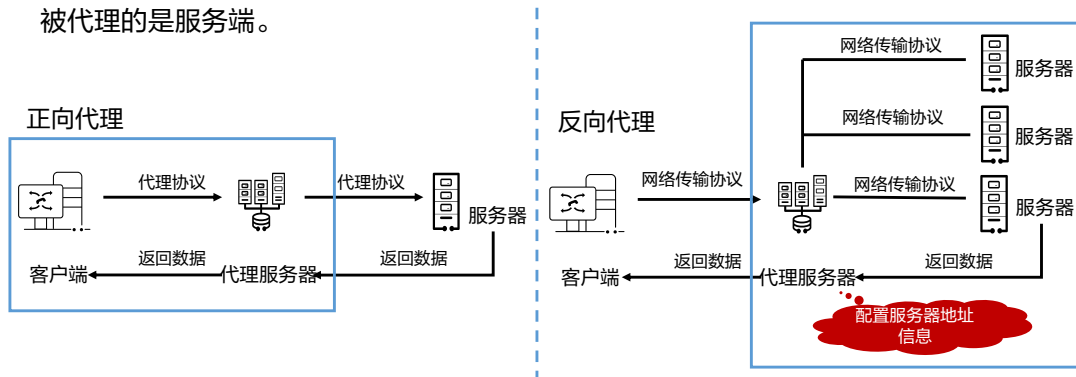
- 在Linux下的负载均衡集群软件有：LVS、Nginx、HAProxy、RAC等。



- LVS
 - 全称为Linux Virtual Server，是一款开源的四层（传输层）负载均衡软件。
- Nginx
 - 支持四层和七层（应用层）负载均衡。
- HAProxy
 - 和Nginx一样，也可同时支持四层和七层（应用层）负载均衡。
- Nginx和HAProxy虽然支持四层负载均衡，但在大多数场景中，它们都会被选择为七层负载均衡。

负载均衡代理介绍

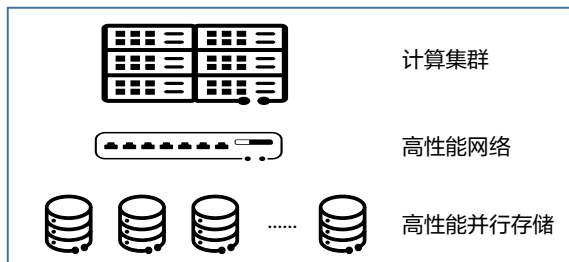
- 代理可分为正向代理和反向代理，一般用于负载均衡集群。
- 正向代理和反向代理是相对于被代理者来说的，正向代理被代理的是客户端，反向代理被代理的是服务端。



- 正向代理与反向代理的区别最核心的不同在于代理的对象不同。
 - 正向代理是代理客户端，正向代理隐藏真实客户端。
 - 反向代理是代理服务器，反向代理隐藏真实服务器。
- 正向代理的使用场景有：
 - 在某些地区或网络环境下，用户可能无法直接访问某些网站或服务。此时，可以通过设置正向代理来突破这些限制，实现访问。
 - 网络安全：通过正向代理，企业可以监控和管理员工的网络访问行为，隐藏客户端真实IP，防止敏感数据泄露。
 - 内容过滤：学校、图书馆等公共场所可以通过正向代理过滤不良内容，保护用户免受不良信息的侵害。
- 反向代理经常用于以下几个场景：
 - Web应用：在Web应用中，反向代理常用于实现负载均衡、安全访问控制以及缓存优化等功能；
 - API网关：API网关通常采用反向代理的方式，对外部请求进行统一管理和调度，实现API的安全、高效访问；
 - CDN加速：内容分发网络（CDN）通过在全球范围内部署反向代理服务器，实现内容的就近访问和加速传输。

高性能计算集群介绍

- 高性能计算集群（High Performance Computing，简称为HPC集群）
 - HPC是计算机科学的一个分支，通过集群架构、并行算法和相关软件以并行计算/分布式计算的方式实现单台计算机无法达到的运算速度（每秒万亿次以上）。
 - HPC是一套软硬件协同工作的系统，典型的架构包括基础设施、计算节点、存储及文件系统、网络交换、集群管理、资源调度等。



HPC的重要性

HPC是解决国家重大战略课题和科技创新的重要支撑

国家超算承接国家科学战略，支撑尖端科研



气象气候



天文物理



航空航天



国防军工



能源



纳米材料

《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2035年远景目标纲要》

“加快构建全国一体化大数据中心体系，强化算力统筹智能调度，建设若干国家枢纽节点和大数据中心集群，**建设E级和10E级超级计算中心。**”

工业和信息化部 《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》

“加快提升算力算效水平。引导新型数据中心集约化、高密化、智能化建设，稳步提高数据中心单体规模、单机架功率，**加快高性能、智能计算中心部署...**

HPC有力推行行业创新发展



对于海洋模型模拟而言，分辨率的提高会带来计算量的大幅提升。如果水平分辨率**提高10倍**，模式的**计算量将增加数百乃至上千倍**，是未来E级计算机系统的驱动应用。

- 摘自《世界科技研究与发展—全球高性能计算发展态势分析》

加快求解速度

成本、效益

新车研发时间

60月-> **24月**

天气预报准确率

21.8% -> **90%**

增大求解规模

匹配实际需求

新药研发鉴定

5000天-> **100天**

基因测序时长

13年-> **1天**

提升求解精度

更加准确

工业质检效率

80%-> **99.9%**

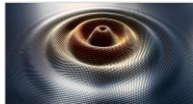
新冠诊断效率

10分钟-> **10秒钟**

HPC的应用场景

算力需求大

高能物理/流体力学/分子动力学/量子力学/纳米科学/空气动力学/地震模拟/地球模拟.....



行业HPC场景

生命科学

制药/基因测序/蛋白质折叠



制造

碰撞/流体/噪声/燃烧/电磁



能源

油藏模拟/地震资料处理



航天、卫星

遥感/气象/测绘



目录

1. 计算集群介绍
2. 计算集群分类
- 3. 计算集群关键技术**

高可用介绍



- 高可用（High Availability，简称HA），是系统或组件在面临故障、异常或维护操作时，仍能保持运行或快速恢复正常运行的能力。高可用性的目标是最大限度地减少系统停机时间，确保服务的连续性和稳定性。
- 高可用的特点：



- 冗余性：高可用系统通常具备多个备份组件或服务，以确保在主组件发生故障时，备用组件能够立即接管工作。
- 自动故障转移：系统能够自动检测故障并实现故障转移，无需人工干预，从而减少系统的停机时间。
- 快速恢复：高可用系统设计有快速恢复机制，能够在故障发生后迅速恢复正常运行状态。
- 数据一致性：高可用系统确保数据在多个节点之间的一致性，避免数据丢失或损坏。
- 多地域部署：在多个地理位置部署服务，以减少因地理位置特定问题导致的服务中断。
- 可扩展性：高可用系统设计时考虑到了可扩展性，能够随着业务增长而扩展资源和服务能力。

Heartbeat简介



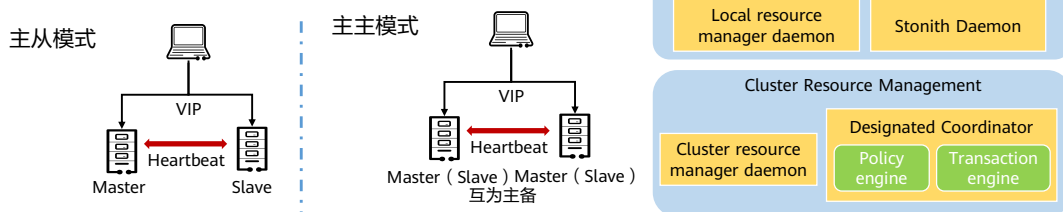
- Heartbeat是一款开源提供高可用服务的软件，通过Heartbeat可以将资源（IP及程序服务等资源）从一台已经故障的计算机快速转移到另一台正常运转的机器上继续提供服务，一般称之为高可用服务。在实际生产应用场景中，Heartbeat的功能和另一个高可用软件Keepalived有很多相同之处，但在生产中，对应实际的业务应用也是有区别的，例如：Keepalived主要是控制IP的漂移，配置、应用简单，而Heartbeat则不但可以控制IP漂移，更擅长对资源服务的控制，配置、应用比较复杂。

- Heartbeat项目是Linux-HA工程的一个组成部分，自1999年开始到现在，发布了众多版本，是目前开源Linux-HA项目最成功的一个例子，它实现了一个高可用集群系统。心跳服务和集群通信是高可用集群的两个关键组件，在Heartbeat项目里，由heartbeat模块实现了这两个功能：心跳监测部分和资源接管部分。心跳监测可以通过网络链路和串口进行，而且支持冗余链路，它们之间相互发送报文来告诉对方自己当前的状态，如果在指定的时间内未收到对方发送的报文，那么就认为对方失效，这时需启动资源接管模块来接管运行在对方主机上的资源或者服务。

Heartbeat组成与原理



- Heartbeat支持两种模式：主备模式和主主模式。
- Heartbeat提供了高可用集群最基本的功能，例如，节点间的内部通信方式、集群合作管理机制、监控工具和失效切换功能等。



29 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.



- 通过修改Heartbeat软件的配置文件可以指定哪一台Heartbeat服务器作为主服务器，则另一台将自动成为热备服务器。然后在热备服务器上配置Heartbeat守护程序来监听来自主服务器的心跳消息。如果热备服务器在指定时间内未监听到来自主服务器的心跳，就会启动故障转移程序，并取得主服务器上的相关资源服务的所有权，接替主服务器继续不间断的提供服务，从而达到资源及服务高可用性的目的。
- Heartbeat支持主备模式，heartbeat还支持主主模式，即两台服务器互为主备，这时它们之间会相互发送报文来告诉对方自己当前的状态，如果在指定的时间内未收到对方发送的心跳报文，那么，一方就会认为对方失效或者宕机了，这时每个运行正常的主机就会启动自身的资源接管模块来接管运行在对方主机上的资源或者服务，继续为用户提供服务。
- Heartbeat内部组成，主要分为以下几大部分：
 - heartbeat：节点间通信检测模块
 - ha-logd：集群事件日志服务
 - CCM（Consensus Cluster Membership）：集群成员一致性管理模块
 - LRM（Local Resource Manager）：本地资源管理模块
 - Stonith Daemon：使出现问题的节点从集群环境中脱离
 - CRM（Cluster Resource Management）：集群资源管理模块
 - Cluster Policy Engine：集群策略引擎

- Cluster Transition Engine: 集群转移引擎

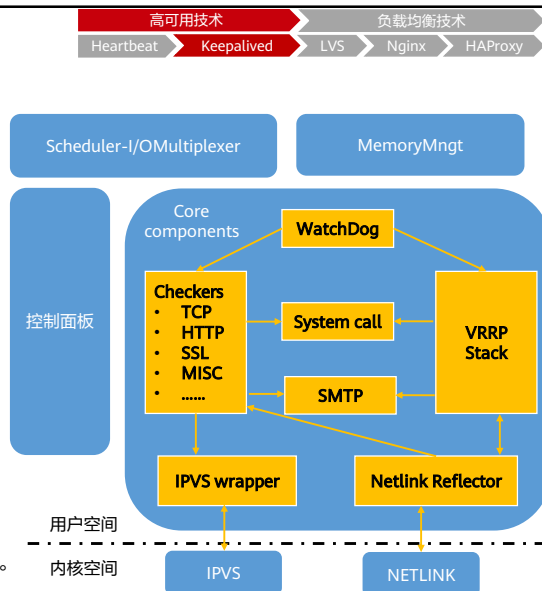
Keepalived简介

- Keepalived是一个基于VRRP协议来实现LVS服务高可用方案，可以实现集群的心跳检测、虚拟IP漂移等功能。
- Keepalived的功能可分为两大部分：
 - 对LVS进行健康检查
 - Keepalived本身不具备负载均衡的功能，因此需要依赖运行在Linux内核的LVS。
 - 通过VRRPv2来处理负载均衡集群的故障切换
 - Keepalived内置了一系列的健康检查工具，可以动态的和自适应的对负载均衡集群中的后端服务器进行健康检查，并结合VRRP来实现高可用。

- Keepalived是一个基于VRRP协议来实现LVS服务高可用方案，可以避免单点故障。一个LVS服务会使用2台服务器运行Keepalived，主服务器（Master）与备份服务器（Backup）对外表现为一个虚拟IP，主服务器发送特定的消息给备份服务器，当备份服务器收不到此消息时，即认为主服务器宕机，备份服务器会接管虚拟IP，继续提供服务，从而保证高可用性。

Keepalived软件架构介绍

- 控制面板
- 调度器
- 内存管理
- 核心组件
 - WatchDog: 监控checkers和VRRP进程的状况;
 - Checkers: 真实服务器的健康检查;
 - VRRP Stack: 负载均衡器之间的切换;
 - Netlink Reflector: 用于反射网络消息给NETLINK;
 - SMTP: 邮件组件, 用于为管理员发送消息;
 - IPVS wrapper: 用于传递IPVS规则;
 - System call: 实现VRRP协议状态转换时调用的脚本。

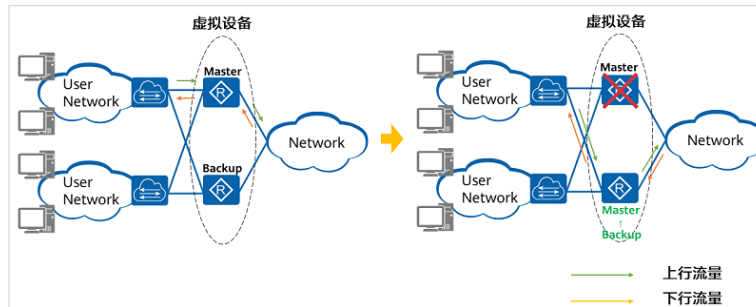


Keepalived的健康检查说明

- Keepalived支持以下健康检查类型：
 - TCP_CHECK
 - 运行在第四层，Keepalived向后端服务器发送TCP连接请求，如果收不到响应或超时，则认为该服务器不可用，会将从服务器池中移除。
 - HTTP_GET
 - 工作在第五层，向指定的URL执行http请求，将得到的结果用md5加密并与指定的md5值比较看是否匹配，不匹配则从服务器池中移除；此外还可以指定http返回码来判断检测是否成功。HTTP_GET可以指定多个URL检测，多用于一台服务器有多个虚拟主机的场景中。
 - SSL_GET
 - 和HTTP_GET类型，区别在于连接使用SSL。
 - MISC_CHECK
 - 使用脚本对服务器状态进行检查，脚本的返回值为0表示状态正常。如果在配置时设置了misc_dynamic，权重会自动调整为“退出码-2”。

VRRP功能介绍

- VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol)：虚拟路由冗余协议，解决静态网关单点故障风险，它能够保证当个别节点宕机时，整个网络可以不间断地运行。



VRRP状态机介绍

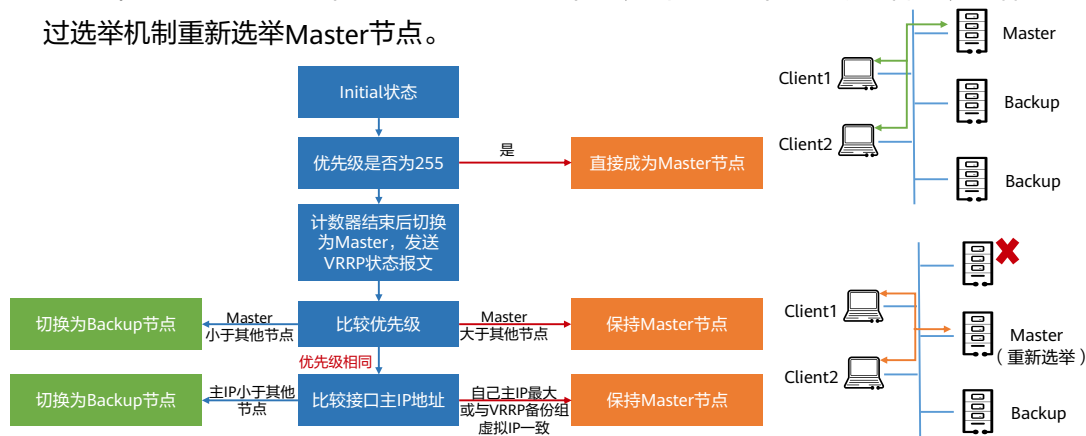
- VRRP协议中定义了三种状态机：初始状态（Initialize）、活动状态（Master）、备份状态（Backup）。其中，只有处于Master状态的设备才可以转发那些发送到虚拟IP地址的报文。

状态	说明
Initialize	该状态为VRRP不可用状态，在此状态时设备不会对VRRP通告报文做任何处理。通常设备启动时或设备检测到故障时会进入Initialize状态。
Master	当VRRP设备处于Master状态时，它将会承担虚拟路由设备的所有转发工作，并定期向整个区域内发送VRRP通告报文。
Backup	当VRRP设备处于Backup状态时，它不会承担虚拟路由设备的转发工作，并定期接受Master设备的VRRP通告报文，判断Master的工作状态是否正常。

VRRP工作原理



- VRRP中通过设定好的选举机制来选择Master节点，当Master节点出现故障时，同样也通过选举机制重新选举Master节点。



- VRRP详细工作过程：

- VRRP备份组中的设备根据优先级选举出Master。Master设备通过发送免费ARP报文，将虚拟MAC地址通知给与它连接的设备或者主机，从而承担报文转发任务。
- Master设备周期性向备份组内所有Backup设备发送VRRP通告报文，通告其配置信息（优先级等）和工作状况。
- 如果Master设备出现故障，VRRP备份组中的Backup设备将根据优先级重新选举新的Master。
- VRRP备份组状态切换时，Master设备由一台设备切换为另外一台设备，新的Master设备会立即发送携带虚拟路由器的虚拟MAC地址和虚拟IP地址信息的免费ARP报文，刷新与它连接的设备或者主机的MAC表项，从而把用户流量引到新的Master设备上来，整个过程对用户完全透明。
- 原Master设备故障恢复时，若该设备为IP地址拥有者（优先级为255），将直接切换至Master状态。若该设备优先级小于255，将首先切换至Backup状态，且其优先级恢复为故障前配置的优先级。
- Backup设备的优先级高于Master设备时，由Backup设备的工作方式（抢占方式和非抢占方式）决定是否重新选举Master。

Heartbeat和Keepalived区别



对比项	Heartbeat	Keepalived
协议	基于主机或网络的服务的高可用方式	使用的VRRP协议方式
配置使用	多个子项目安装、配置、使用比较复杂	Keepalived只有1个安装文件、1个配置文件，配置文件简单
使用场景	大型集群管理	主要用于集群倒换
使用方式	编写自定义脚本	编写自定义脚本

- Keepalived使用更简单：从安装、配置、使用、维护等角度上对比，Keepalived都比Heartbeat要简单得多，尤其是Heartbeat 2.1.4后拆分成3个子项目，安装、配置、使用都比较复杂，尤其是出问题的时候，都不知道具体是哪个子系统出问题了；而Keepalived只有1个安装文件、1个配置文件，配置文件也简单很多。
- Heartbeat功能更强大：Heartbeat虽然复杂，但功能更强大，配套工具更全，适合做大型集群管理，而Keepalived主要用于集群倒换，基本没有管理功能。
- 协议不同：Keepalived使用VRRP协议进行通信和选举，Heartbeat使用心跳进行通信和选举；Heartbeat除了走网络外，还可以通过串口通信，貌似更可靠。
- 使用方式基本类似：如果要基于两者设计高可用方案，最终都要根据业务需要写自定义的脚本，Keepalived的脚本没有任何约束，随便怎么写都可以；Heartbeat的脚本有约束，即要支持service start/stop/restart这种方式，而且Heartbeat提供了很多默认脚本，简单的绑定IP，启动apache等操作都已经有了。
- 使用建议：优先使用Keepalived，当Keepalived不够用的时候才选择Heartbeat。

负载均衡介绍



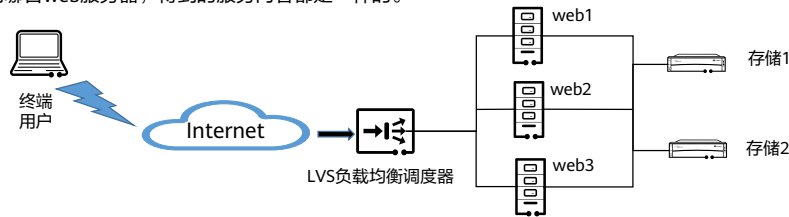
- 负载均衡（Load Balance）是高并发、高可用系统必不可少的关键组件，目标是尽力将网络流量平均分发到多个服务器上，以提高系统整体的响应速度和可用性。
- 负载均衡的主要作用：



- 高并发：负载均衡通过算法调整负载，尽力均匀的分配应用集群中各节点的工作量，以此提高应用集群的并发处理能力（吞吐量）。
- 伸缩性：添加或减少服务器数量，然后由负载均衡进行分发控制。这使得应用集群具备伸缩性。
- 高可用：负载均衡器可以监控候选服务器，当服务器不可用时，自动跳过，将请求分发给可用的服务器。这使得应用集群具备高可用的特性。
- 安全防护：有些负载均衡软件或硬件提供了安全性功能，如：黑白名单处理、防火墙，防DDos攻击等。

LVS介绍

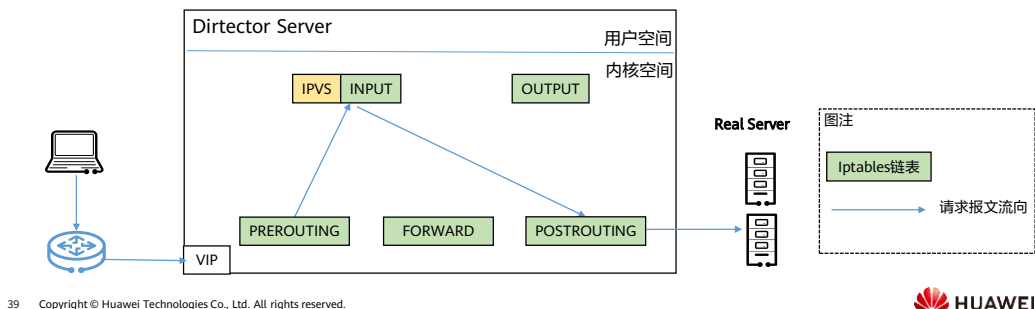
- LVS（Linux Virtual Server），在Linux系统内核中实现基于IP的数据请求负载均衡调度方案。例如：
 - 终端用户通过Internet网络访问LVS负载均衡器，终端用户的web请求发送会被LVS调度器根据自己**预设的算法**将该请求发送给后端的某台服务器。
 - 例如轮询算法，可以将外部的请求依次分发给后端的所有web服务器，终端用户访问LVS调度器虽然会被转发到后端真实的web服务器，但如果后端真实的web服务器连接的是相同的存储，提供的web服务也是相同的服务，最终用户不管访问哪台web服务器，得到的服务内容都是一样的。



LVS原理介绍



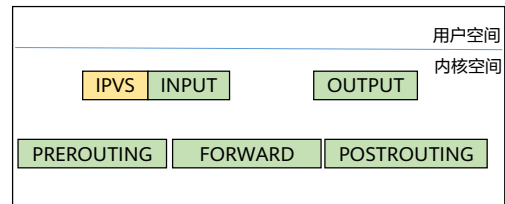
- 当用户向负载均衡调度器（Director Server）发起请求，调度器会将请求发往内核空间。
- 在负载均衡调度器中数据包通过iptables链表中的规则来实现数据包的转发动作，将数据包发送给指定的服务器。



- LVS中链表的转发流程如下：
 - PREROUTING链首先会接到用户请求，判断目标IP确定是本机IP，将数据包发往INPUT链。
 - IPVS将用户请求和已定义的集群服务进行比对，如果用户请求比对成功，IPVS会强行修改数据包的目标IP地址及端口，并将新的数据包发往POSTROUTING链。
 - POSTROUTING链接收数据包匹配比对到对应的后端真实服务器，将数据包发送给后端的服务器。
- DS：Director Server，前端负载均衡器节点。
- RS：Real Server，后端真实的工作服务器。
- VIP：Virtual IP，向外部直接面向用户请求，作为用户请求的目标的IP地址。
- DIP：Director Server IP，用于和内部主机通讯的IP地址。
- RIP：Real Server IP，后端服务器的IP地址。
- CIP：Client IP，访问客户端的IP地址。

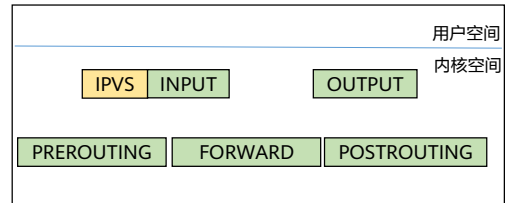
IPVS链表说明（1）

- IPVS：IP Virtual Server，运行在内核当中，基于内核态的netfilter框架实现。IPVS具有Filter，NAT，Mangle，Raw四种内建表：
- Filter表示IPVS的默认表，如果没有自定义表，那么就默认使用Filter表，它具有以下三种内建链：
 - INPUT链：处理来自外部的数据；
 - OUTPUT链：处理向外发送的数据；
 - FORWARD链：将数据转发到本机的其他网卡。



IPVS链表说明（2）

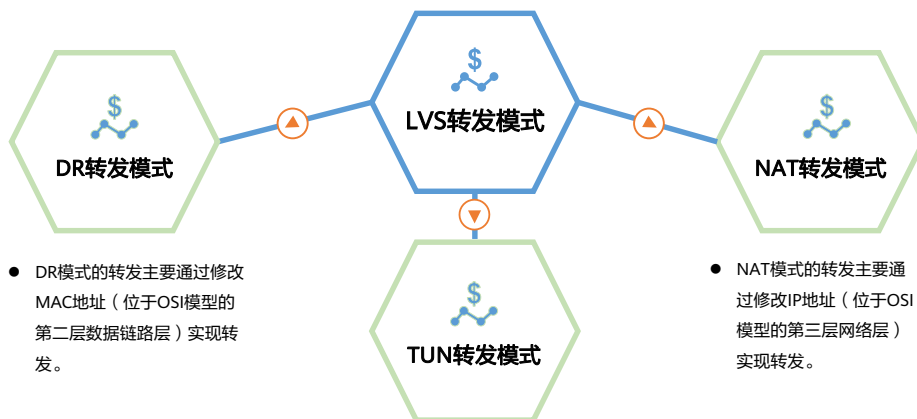
- NAT表作用是实现网络地址转换，表中有三个内建链：
 - PREROUTING链：处理刚到达本机并在路由转发前的数据包。它会转换数据包中的目标IP地址（Destination Ip Address），通常用于DNAT（Destination NAT）；
 - POSTROUTING链：处理即将离开本机的数据包。它会转换数据包中的源IP地址（Source Ip Address），通常用于SNAT（Source NAT）；
 - OUTPUT链：处理本机产生的数据包。



IPVS链表说明（3）

- Mangle表用于指定如何处理数据包。它能改变TCP头中的QoS位。Mangle表具有5个内建链：
 - PREROUTING;
 - OUTPUT;
 - FORWARD;
 - INPUT;
 - POSTROUTING;
- Raw表用于处理异常，它具有2个内建链：
 - PREROUTING chain;
 - OUTPUT chain;

LVS的模式



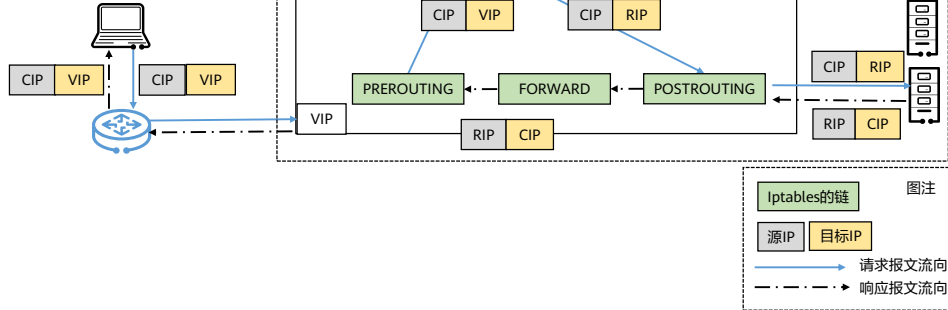
- DR模式的转发主要通过修改MAC地址（位于OSI模型的第二层数据链路层）实现转发。

- NAT模式的转发主要通过修改IP地址（位于OSI模型的第三层网络层）实现转发。

- TUN模式和DR模式类似，区别在于允许DIP和RIP在不同的网段，因此请求报文到达LVS后，LVS会在其基础上添加一个隧道头，里面包含了源地址为DIP、目的地址为RIP的信息。

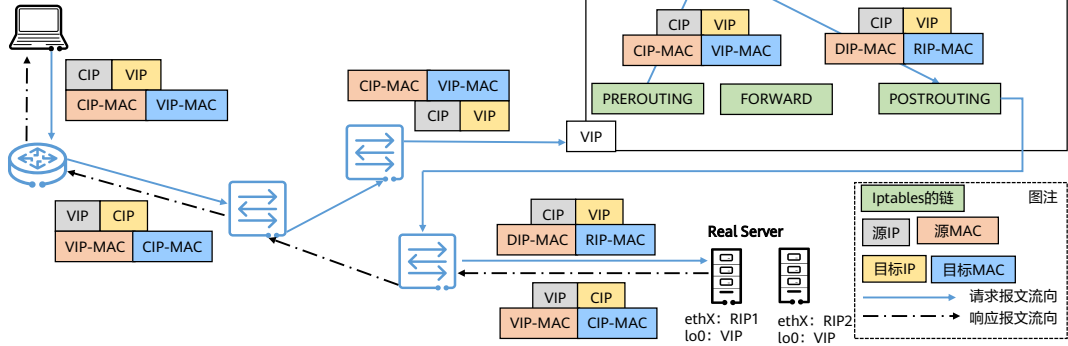
LVS的工作模式 - NAT

- 用户请求LVS到达Director，Director将报文的目的IP地址修改为后端的RIP，同时将报文的目标端口也修改为RIP的对应端口，最后将报文发送到Realservice上，Realservice将数据返回给Director，Director再将数据发送给用户。



LVS的工作模式 - DR

- 用户请求LVS到达Director, Director将报文的目的MAC地址修改为后端的Realserver的MAC地址, 目的IP为VIP不变, 源IP为Client IP地址不变, 然后Director将报文发送到Realserver, 检测到目的地址为自己本地的VIP, 如果在同一网段, 直接将请求返回给用户, 如果用户跟Realserver不在同一个网段, 则需要通过网关返回给用户。



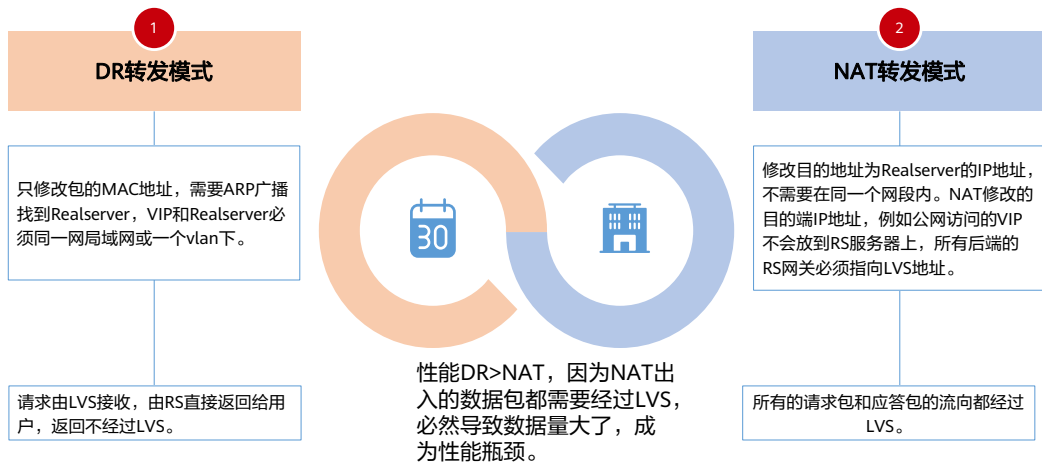
- DS: Director Server, 前端负载均衡器节点。
- RS: Real Server, 后端真实的工作服务器。
- VIP: Virtual IP, 向外部直接面向用户请求, 作为用户请求的目标的IP地址。
- DIP: Director Server IP, 用于和内部主机通讯的IP地址。
- RIP: Real Server IP, 后端服务器的IP地址。
- CIP: Client IP, 访问客户端的IP地址。

LVS的工作模式 - TUN

- TUN模式和DR模式类似，区别在于允许DIP和RIP在不同的网段，因此请求报文到达LVS后，LVS会在其基础上添加一个隧道头，里面包含了源地址为DIP、目的地址为RIP的信息。
- 经过隧道后，数据包到达对应的RS后，它会对隧道头进行解封装，露出其中的报文头及报文内容，然后进行处理和响应。
- 响应报文的源地址为VIP，目的地址为客户端地址。

- TUN模式的优势LVS和RS之间可以跨网段，甚至可以跨广域网。

NAT模式与DR模式区别



LVS调度算法介绍 – 静态算法



- 静态算法是提前设置既定的规则，后续数据包的转发都会按照这种规则进行按部就班执行。

RR(Round Robin): 轮询

- 调度器将收到的请求按顺序轮流分配到集群中的RS。均匀地分配请求，不考虑服务器连接数和负载情况

WRR(Weight RR): 加权轮询

- 根据RS的处理能力给予不同的权重，为性能好的服务器分配更多的请求，性能一般的分配较少的请求。

DH (Destination Hash) : 目的地址散列

- 根据请求的目的IP，从静态分配的散列表找出对应的服务器，若该服务器是可用的且未超载，将请求发送至服务器，否则返回空。

SH (Source Hashing) : 源地址散列

- 根据请求的源IP，从静态分配的列表找出对应的服务器，若该服务器是可用的且未超载，将请求发送至服务器，否则返回空。



- 静态不管后端真实服务器的状态，根据自身算法进行调度；动态会根据后端服务器的状态进行调度。
- 动态服务器根据一个参考值确定服务器是否忙，这个值越小代表服务器比较清闲，代表优先级越高，会优先调度。

LVS调度算法介绍 – 动态算法（1）

- 动态算法是基于网络、后端服务器以及连接等的实际状况，再根据具体的算法对负载实时地作出调整。

LC (Least Connections) : 最少连接

- 调度器将网络请求调度到已建立连接数量最少的服务器上。

WLC (Weight LC) : 加权最少连接

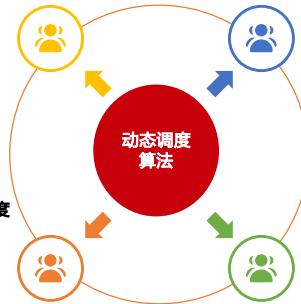
- 根据真实服务器的不同处理能力来调度，具有较高权值的服务器将承受较大比例的活动连接负载。

SED (Shortest Expected Delay) : 最短延迟调度

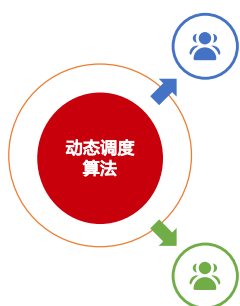
- 在WLC基础上改进，不再考虑非活动状态，当权限过大时，会导致空闲服务器一直处于无连接状态。

NQ (Never Queue Scheduling) : 最少队列调度

- 无需队列，如果Realserver的连接数=0，就直接分配



LVS调度算法介绍 – 动态算法（2）



LBLC (Locality-based Least Connection) : 基于局部的最少连接算法

- 根据客户端IP地址和服务端IP地址的局部性原则，将任务分配给距离客户端最近、连接数最少的处理器或资源。此调度算法是针对目标IP地址的负载均衡，目前主要用于Cache集群系统。该算法根据请求的目标IP地址找出该目标IP地址最近使用的服务器，若该服务器是可用的且没有超载，将请求发送到该服务器；若服务器不存在，或者该服务器超载且有服务器处于一半的工作负载，则用“最少链接”的原则选出一个可用的服务器，将请求发送到该服务器。

LBLCR (Weight LC) : 带复制的基于局部性的最少连接调度

- 在基于局部的最少连接调度的基础上，将任务复制到多个处理器或资源上，以提高可用性和容错性。

- LBLC：此调度算法是针对目标IP地址的负载均衡，目前主要用于Cache集群系统。该算法根据请求的目标IP地址找出该目标IP地址最近使用的服务器，若该服务器是可用的且没有超载，将请求发送到该服务器；若服务器不存在，或者该服务器超载且有服务器处于一半的工作负载，则用“最少链接”的原则选出一个可用的服务器，将请求发送到该服务器。
- LBLCR：“基于局部性最少链接”调度算法也是针对目标IP地址的负载均衡，目前主要用于Cache集群系统。它与LBLC算法的不同之处是它要维护从一个目标IP地址到一组服务器的映射，而LBLC算法维护从一个目标IP地址到一台服务器的映射。该算法根据请求的目标IP地址找出该目标IP地址对应的服务器组，按“最小连接”原则从服务器组中选出一台服务器，若服务器没有超载，将请求发送到该服务器；若服务器超载，则按“最小连接”原则从这个集群中选出一台服务器，将该服务器加入到服务器组中，将请求发送到该服务器。同时，当该服务器组有一段时间没有被修改，将最忙的服务器从服务器组中删除，以降低复制的程度。

LVS调度算法介绍 – 其他算法



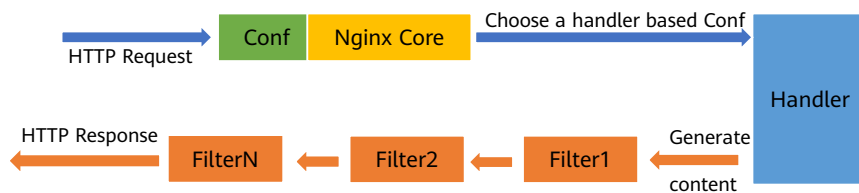
- FO: Weighted Fail Over算法
 - 该算法会遍历虚拟服务所关联的真实服务器链表，找到还未过载（未设置IP_VS_DEST_F_OVERLOAD标志）的且权重最高的真实服务器，进行调度，属于静态算法。
- OVF: Overflow-connection
 - 基于RS的活动连接数和权重值来实现。它会将新连接调度到权重值最高的RS，直到其活动连接数超过它的权重值，之后调度到下一个权重值最高的RS。该算法会遍历LVS关联的RS链表，找到权重值最高的可用RS，属于动态算法。可用RS需要满足以下条件：
 - 未过载(未设置IP_VS_DEST_F_OVERLOAD标识)；
 - RS当前活动连接数小于其权重值；
 - 权重值不为0。

- LVS的内核版本4.15版本后新增调度算法FO和OVF。

Nginx介绍



- Nginx是七层负载均衡，建立在OSI模型的应用层之上，基于访问URL进行转发，转发时可以修改URL等数据。
- Nginx的模块从功能上分为如下三类。
 - Handlers（处理器模块）：此类模块直接处理请求，输出内容并修改headers信息等操作。Handlers处理器模块一般只能有一个。
 - Filters（过滤器模块）：此类模块主要对其他处理器模块输出的内容进行修改操作，最后由Nginx输出。
 - Proxies（代理类模块）：此类模块是Nginx的HTTP Upstream之类的模块，这些模块主要与后端一些服务比如FastCGI等进行交互，实现服务代理和负载均衡等功能。



Nginx支持调度算法介绍



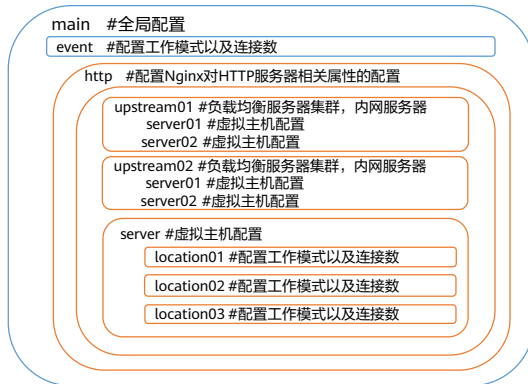
- RR (Round Robin)：轮询，Nginx的默认算法，Nginx会轮流将请求发送给不同的服务器，使每个服务器都均等的提供服务。
- WLB (Weighted Load Balancing)：权重，指定轮询的频率，weight和访问率成正比，用于后端服务器性能不均匀的情况。
- LC (Least Connections)：最少连接调度，Nginx会尽量不让负载繁忙的应用服务器上负载过多的请求，相反的，会把新的请求发送到比较不繁忙的服务器。
- IP Hash：基于源地址的哈希值选择合适服务器。
- Generic Hash：基于自定义的key的哈希值来实现调度，key值支持文本、变量或者文本+变量的方式指定。
- Random：随机指定，该算法会从后端服务器中随机指定一个来响应客户端请求。在该算法下，后面可加选项“two”，表示随机挑选两台服务器出来，然后根据指定的算法来响应请求，如果不指定算法则参考权重来响应。

- Nginx还支持Least time算法，仅在Nginx plus（商业版）支持，它在最少连接数算法的基础上增加了响应时间，因此使用时需要加上header或者last_byte。

Nginx关键配置解析

- main(全局设置)、server (主机设置)、upstream (负载均衡服务器设置)和location (URL匹配特定位置的设置)。server继承main、location继承server、upstream既不会继承其他设置也不会被继承。在这四部分当中，每个部分都包含若干指令，这些指令主要包含Nginx的主要模块指令、事件模块指令、HTTP核心模块指令、同时还可以使用其他HTTP模块指令。

- main：设置的指令将影响所有设置；
- server：设置的指令主要用于主机和端口；
- upstream：用于负载均衡，设置一系列的后端服务器；
- Location：块用于匹配网页位置。



Nginx的负载均衡的其他指令参数

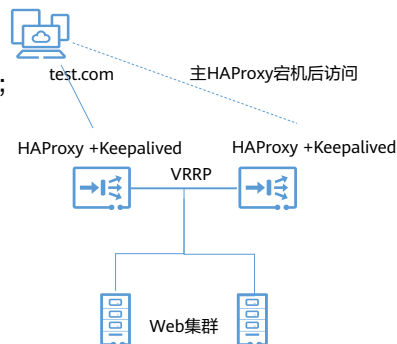


- Nginx的upstream模块还提供了一些其他指令参数，对负载均衡进行配置：
 - max_conns num：设置被负载的服务器的最大连接数。
 - down：常用于IP Hash算法，表示对应的服务器状态为down，Nginx将不会把请求转发到对应服务器。
 - backup：表示对应的服务器为备份状态，当其他服务器全部出现故障后，Nginx才会将请求转发到对应的服务器。
 - max_fails和fail_timeout：用于健康检查，其中max_fails表示Nginx对后端服务器请求失败的次数，默认值为1，如果1次失败后，Nginx就会在fail_timeout所设定的时间内，不会将请求转至该服务器。在fail_timeout时间后，nginx会尝试地把新的请求转发至该服务器，如果仍然没有恢复正常，Nginx就继续在fail_timeout所设定的时间内，不会将请求转至该服务器。
 - slow_start：用于健康检查中，当集群中有服务器在等待fail_timeout后，Nginx检测到该服务器恢复后，仍不会立刻转发请求到该服务器上，而是等待slow_start指定的时间后，才会再转发请求到该服务器上。

HAProxy介绍



- HAProxy是一款基于事件驱动、单进程模型设计的四层与七层负载均衡器。HAProxy不仅适用于Web服务器负载均衡，还能应用于数据库、邮件服务器、缓存服务器等多种场景，支持高达数百万级别的并发连接，并具有极低的延迟。
 - HAProxy支持四层和七层的负载均衡；
 - HAProxy基于事件驱动的连接处理模式和单进程处理模式；
 - HAProxy支持ACL功能；
 - HAProxy支持图形化监控；
 - HAProxy支持10余种调度算法。



HAProxy支持的调度算法介绍



RR
轮询调度，默认算法。



Source
基于源地址hash，取值后如果源地址相同，则转发至相同服务器。



URI
基于用户请求的uri进行hash计算，取值后将请求转发至指定服务器。



HDR

针对用户http头部请求中的指定信息进行hash计算，然后根据权重将请求转发至对应后端服务器，如果指定的值无效，则会使用默认的轮询算法进行调度。

First

根据配置文件中服务器的列表自上而下进行调度，当第一台服务器连接数到达上限后，新的请求会被转发至下一台服务器，以此类推。

Leastconn

最少动态连接算法，优先将新的请求转发至活动连接最少服务器上。

LVS、Nginx和HAProxy对比



	LVS	Nginx	HAProxy
工作网络层级	四层	四层和七层	四层和七层
效率	极高	高	高
对网络稳定性的容忍度	低	高	高
维护性	低	高	高
故障检测及重试	低	高	高
Session保持	支持	不支持，通过ip_hash实现	支持
虚拟主机	不支持	支持	支持
HTTPS透传	支持	支持	1.5及以上支持

- LVS基于Linux操作系统实现软负载均衡，而HAProxy和Nginx是基于第三方应用实现的软负载均衡。
- LVS是可实现4层的IP负载均衡技术，无法实现基于目录、URL的转发。而HAProxy和Nginx都可以实现4层和7层技术，HAProxy可提供TCP和HTTP应用的负载均衡综合解决方案。
- LVS因为工作在TCP模型的第四层，其状态监测功能单一，而HAProxy在状态监测方面功能更丰富、强大，可支持端口、URI等多种状态检测方式。
- HAProxy功能强大，但整体性能低于4层模式的LVS负载均衡Nginx主要用于web服务器或缓存服务器。
- Nginx的upstream模块虽然也支持群集功能，但是对群集节点健康检查功能不强，性能没有Haproxy好。

思考题

1. （单选题）以下关于负载均衡相关技术的描述，错误的是哪一项？
- A. 在Linux下的负载均衡集群软件有LVS、Nginx、 HAProxy
 - B. LVS有三种工作模式，分别为：DR模式、TUN模式、NAT模式
 - C. LVS只支持动态调度算法，不支持静态调度算法
 - D. HAProxy是一款基于事件驱动、单进程模型设计的四层与七层负载均衡

- 参考答案：C

本章总结

- 本章讲述了：
 - 在新兴IT场景下，服务器单一架构在扩展性、可用性等方面的局限性
 - 在集群中不同的分类，着重介绍了高可用集群、负载均衡集群以及高性能计算集群的基本概念
 - 高可用集群中常用的Heartbeat以及Keepalived软件的功能原理
 - 负载均衡集群中常用的LVS、Nginx和HAProxy的功能原理，同时介绍了不同软件所支持的调度算法

学习推荐

- <https://e.huawei.com/cn/products/computing>

Thank you.

把数字世界带入每个人、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界。

Bring digital to every person, home, and
organization for a fully connected,
intelligent world.

版权所有 © 华为技术有限公司 2026。

保留一切权利。

未经华为事先书面许可，任何人不得对本资料进行复制、修改、
整合、改编、翻译，也不得将本资料或其任何部分或基于本资
料的衍生作品提供、出售、转让、再许可给任何人用于华为
许可以外的任何其他用途。

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2025.

All Rights Reserved.

Without prior written permission of Huawei, no one is
allowed to reproduce, modify, integrate, adapt, translate
this Document, or provide, sell, transfer, sublicense this
Document or any part of this Document or its derivative to
any third party for any other purpose otherwise permitted
by Huawei.



高性能计算集群技术



前言

- HPC，全名为高性能计算，也称为高性能计算机群，通常用来处理大型计算问题，目前HPC已经进入各行各业，典型的场景包括：环境科学，生命科学，能源，制造，核爆模拟等。
- 为了打造中国数字经济的安全底座，紧跟HPC的行业发展，华为提出了基于鲲鹏的自主可控HPC全栈解决方案，本章将讲述华为HPC解决方案全景，包括基础软件、集群管理与调度和开发套件，助力客户更好的部署使用鲲鹏HPC方案。

目标

- 学完本课程后，您将能够：
 - 了解华为HPC解决方案全景图；
 - 熟悉基础软件HPCKit（通信库、数学库、编译器）的功能原理；
 - 熟悉集群管理与调度DonauKit（集群管理平台、作业调度器）的功能原理；
 - 熟悉鲲鹏开发套件DevKit的一站式开发工具链。

目录

1. 高性能计算解决方案
2. 基础软件HPCKit
3. 集群管理与调度DonauKit
4. 工具套件DevKit

高性能计算面临的挑战

- HPC（High-performance Computing，高性能计算）是能够执行一般电脑无法处理的大资料量与高速运算的并行计算系统，将大规模运算任务拆分并分发到各个服务器上进行并行运算，再将计算结果汇总得到最终结果，从而实现强大的计算功能。
- 高性能计算解决方案已经广泛应用于制造、气象、EDA等行业，但仍然面临诸多挑战：



- 命令行交互操作复杂
 - 高性能计算集群用户大多数为非IT从业人员，不擅长使用命令行方式进行任务管理和数据管理操作。
 - 资源管理的维度不是基于客户视角设计，使用之前需要学习一些概念。
 - 资源管理配置比较复杂，用户不能快速掌握，配置容易出错。
- 行业应用复杂
 - 高性能计算应用行业复杂，多种类型软件并存，需持续升级。
- 数据安全问题
 - 数据频繁传输，效率和安全性问题需要保障。
- 异常监控
 - 需及时发现集群中的异常、实现多集群统一管理、用户异常行为监控，异常监控项多变。
- 工作流程不连续
 - 传统高性能计算系统与用户现有的工作流程脱节。用户需要登录不同的终端分别进行数据处理和传输，没有统一的门户对仿真业务流程进行整合。
- 资源利用率较低
 - 孤岛式的用户工作模式，每个用户在自己的桌面工作站上工作，并不利于协同

作业，容易因为资源闲置而造成浪费。

- 集群规模小
 - 集群规模小，需要多个集群才能支持业务，增加运维工作量，无法支撑大规模并行MPI作业。
- 集群吞吐量低，资源利用率低
 - 集群吞吐量随集群规模的增大逐渐下降，当前开源或者商业的调度器架构陈旧，对新场景无法支持，造成一个业务一个集群，进一步降低资源利用率。
- MPI耗时
 - MPI通信耗时问题凸显，成为集群计算关键瓶颈。

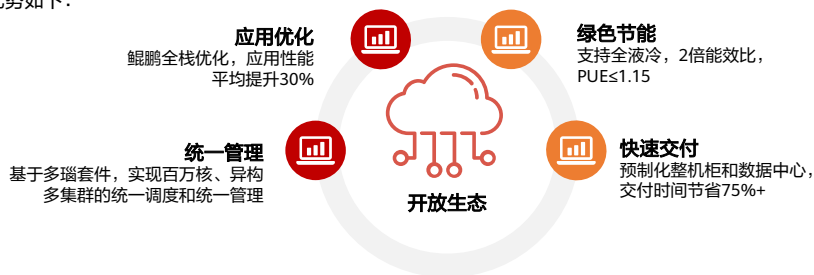
鲲鹏高性能计算解决方案全景图



- DevKit面向全研发作业流程，提升迁移、开发、调优效率，助力开发者高效创新。
- DonauKit提供统一高效的集群管理与调度套件（多瑙Portal和多瑙调度器）。
- HPCKit提供通信库（Hyper MPI）、鲲鹏KML数学库、IO库（Hyper IO）鲲鹏毕昇/GCC编译器组件、鲲鹏统一并行加速库KUPL、领域加速库的一键部署和最优协同。

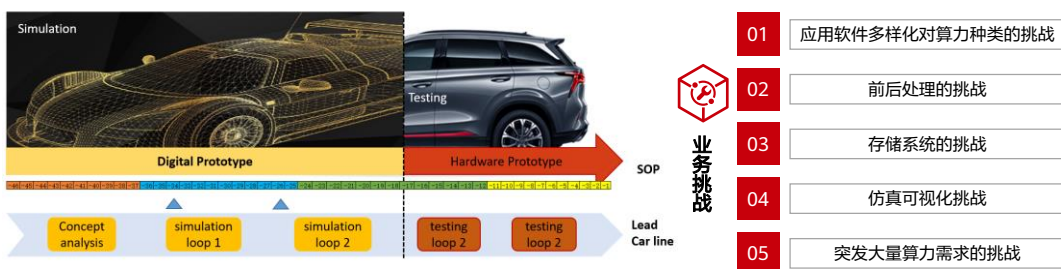
鲲鹏高性能计算方案简介及优势

- 鲲鹏高性能计算将大量服务器和存储设备通过高性能网络互联构建大规模计算集群，集群中各个计算节点相互协同并行处理多个子任务，这种并行计算方式可以帮助解决普通计算机和服务器难以完成或无法快速完成的大型模型计算、复杂课题研究等问题。
- 鲲鹏高性能计算针对资源调度效率低、应用性能优化难等关键挑战，通过全栈架构创新、软硬件自研、基础软件优化和行业应用性能调优等技术构建全栈高性能计算基础平台，帮助客户释放平台算力，缩短产品上市周期，提升企业产品竞争力，具体优势如下：



鲲鹏高性能计算应用场景：制造场景

- 随着数字化时代的到来，越来越多的制造类企业已经完成数字化转型，其中以工业仿真业务尤为突出。工业仿真一般分为前处理、求解和后处理三个阶段，对算力要求最高的是中间求解阶段，需要在高性能计算平台上进行计算，而前处理、后处理则需要进行CAE（Computer Aided Engineering）模型可视化，一般在高性能的图形工作站上完成。
- 以汽车研发为例，汽车研发流程中70%的时间是基于数字模型仿真。数字模型仿真能够缩短上市时间和提高产品质量，所以各车企在产品开发中都建立了相应的仿真流程。



7 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.



• 应用软件多样化对算力种类的挑战

- CAE领域应用软件众多，每款软件对算力形态的需求各不相同。一套功能完备、性能适配的高性能计算机集群系统建设，不仅需要与细分领域的仿真工程师充分沟通，了解工程师对算力的需求，还要结合细分领域软件对计算形态的需求。

• 前后处理的挑战

- CAE领域的建模、前后处理工具对图形工作站硬件要求较高（高主频CPU、大容量内存以及高端图形显示卡），这些硬件特性能够保障仿真工程师的图形操作体验，有效增强CAE仿真研发生产力。图形工作站一般放置于仿真工程师的办公桌面，每次CAE仿真求解时，需要将本地工作站上大量的建模数据通过园区网络上传到高性能计算集群系统，仿真求解完成后，将结果数据下载到本地工作站通过后处理工具进行查看或优化。往复的数据传输可能会导致仿真工程师无法及时提交计算任务，无法及时获取仿真结果，研发效率大打折扣。

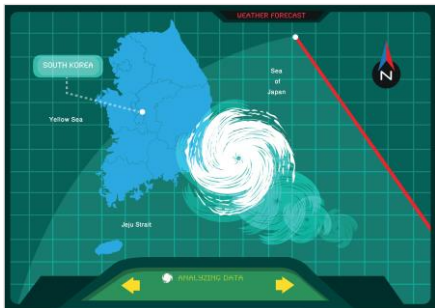
• 存储系统的挑战

- CAE仿真对存储系统有很高的要求，合理的存储系统方案可以大幅度提高计算效率。CAE仿真过程中涉及的数据根据数据生命周期可分为三大类：前处理阶段的原始数据、求解阶段的过程数据和求解完成后的结果数据。原始数据和结果数据对CAE应用程序的运行效率没有太大影响，仅涉及原始数据的加载时间和结果数据的保存时间。求解阶段的过程数据在求解结束后就会被丢弃，但是在求解过程中，数据的访问速度会影响CAE应用程序的运行性能，不合理的过程数据存储方案会导致处理器处于等待状态，计算效率低下。

- 仿真可视化挑战
 - CAE领域仿真过程中，仿真工程师习惯于将计算初始条件通过可视化的方式进行设置，同时在求解过程当中又需要密切关注求解过程产生的日志信息和收敛曲线变化情况。这些可视化的需求在一般的命令行作业调度方式中难以实现，导致仿真工程师在完成CAE仿真的工作之外，还需投入时间学习这些命令行作业调度工具的使用方法。
- 突发大量算力需求的挑战
 - 在CAE仿真集群建设前期进行大量的调研、统计和沟通，以满足企业日常仿真所需，但在企业的日常生产过程中总会出现某阶段仿真任务量非常集中，导致排队仿真任务数量大量积压，仿真工程师无法及时获取仿真结果，影响研发效率。

鲲鹏高性能计算应用场景：气象场景

- 一直以来，气象对高性能计算机的要求非常高。气象预报需要把很多因素都用数值预报来标示，这导致气象预报有着惊人的计算量。事实上，气象预报一直沿用了统计预报、天气学方法和数值天气预报（Numerical Weather Prediction, NWP）三种方法。其中，统计预报基于多年积累下来的气象观测数据进行统计分析，然后做出预报，一般用于中长期（10天以上）的预报，准确性较差；而中期（3~10天）、短期（12小时~3天）以及短时（12小时以内）的天气预报主要采用天气学方法和数值天气预报方法，特别是数值天气预报，已经成为提高气象预报准确性最为倚重的手段。



实时性强、定时运行

计算量巨大

业务挑战

主模式在于计算量

通讯极为密集

8 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.

HUAWEI

• 计算量巨大

- 中尺度气象预报模式（MM5、WRF、GRAPES和AREMS）有着惊人的计算量，同时由于气象预报的特点决定了其极高的实时性，要求模式必须在指定的时间内完成运算（一般不超过2小时）。另一方面，人们对气象预报的精度提出了越来越高的要求，目前预报精度从几百公里、几十公里提高到几公里，这大幅度提高了模式的计算量。预报精度提高一倍，其所需计算量将提高16倍。数值气象预报对计算的这一需求，靠单个CPU或普通的计算机根本不可能完成，必须利用并行计算。一方面，将模式预报软件通过消息传递或者共享存储的方式并行化，另一方面需要高性能并行计算机。目前绝大部分中尺度气象预报模式都已经完成了并行化，如MM5、WRF既支持MPI消息传递并行，又支持OpenMP共享存储内存并行，也支持MPI+OpenMP的混合运行模式。GRAPES只支持MPI并行模式，AREMS也完成了MPI并行化工作。

• 通讯极为密集

- 由于模式都是并行软件，同时一般都采用有限差分格点模式并行计算，所以运行中尺度气象预报模式时，各个CPU之间的通讯量很大，模式对通讯的性能要求非常高。如MM5、WRF的通讯既包括母域和嵌套域之间的域间通讯，又有各个域内部不同数据划分之间的通讯。所以这就要求计算机有高性能的通讯网络。

• 实时性强、定时运行

- 气象预报本身的特点决定了其要求很强的实时性。同时，预报系统要求定时定点自动运行，无需人工干预。一般每天在固定的2-4个时段运行，每个时段2小

时内运行完。这些作业每天在相同时刻运行，必须保证这些模式可以按时计算完毕。

- 主模式在于计算量
 - 从软件的处理流程上看，一般分为前处理、主模式和后处理。前处理包括资料的下载、数据同化等，后处理主要是指图形化处理生成产品等，前/后处理一般对计算机要求不是太高。主模式是整个系统的主要部分，也是主要计算量所在，这个部分是对计算机性能要求非常高。

目录

1. 高性能计算解决方案
- 2. 基础软件HPCKit**
3. 集群管理与调度DonauKit
4. 工具套件DevKit

HPCKit功能架构图

- HPCKit集成鲲鹏数学库（KML）、华为高性能通信库（Hyper MPI）、鲲鹏统一并行加速库（KUPL）、Hyper IO库和领域加速库等用于提高高性能计算软件性能的组件，是一款帮助用户自动化部署高性能计算相关依赖软件包的软件包。



- 领域加速库是针对特定高性能计算场景（如计算光刻、量子色动力学、石油勘探、人工智能等）在鲲鹏平台上深度优化的加速库。它们利用鲲鹏处理器架构特性，通过指令级优化、算法重构和并行加速等手段，显著提升相应领域应用的运行效率。
- 鲲鹏统一并行加速库（Kunpeng Unified Parallel Library，以下简称KUPL）提供了基于鲲鹏平台优化的并行加速基础库函数，所有接口由C/C++、汇编语言实现。
- Hyper IO库（简称HIO）是一类提供系统软件和应用软件之间连接的软件，提供科学数据的存储描述格式定义和文件操作，在高性能计算应用以及大量后处理、可视化及分析框架中广泛应用。

通信库MPI概述

- MPI (Message Passing Interface) 是一种支持多语言编程的并行计算通讯应用接口规范，它定义了一组函数和语法规则，使得多个进程可以在不同的计算机节点上协同工作，共同完成一个任务。MPI有多种实现，例如Open MPI、Intel MPI、MPICH等。
- Hyper MPI (简称HMPI) 是在Open MPI的基础上，结合Open UCX框架的点对点通信操作，开发出专为集合通信优化的UCG框架，该框架中实现了多种集合操作加速算法。Hyper MPI具有高性能、大规模性、可移植性等特点，以支持制造、气象和政府高性能计算场景的解决方案，其长远意义在于构建以鲲鹏服务器为硬件基础的高性能计算生态。



MPI支持点对点通信和集合通信，可以实现多种通信模式，例如广播、散射、聚集等。其中，仅MPI 3.1标准中定义的集合通信函数就高达30多种。在众多集合通信操作函数中，Allreduce、Bcast、Barrier、Allgather、Gatherv和Scatterv的调用频率较高。Hyper MPI在集合通信模式中，不管是大包数据，还是小包数据，它的通信性能相较于其它MPI的实现，具有以下优势：

高性能优化

Hyper MPI针对Allreduce、Bcast、Barrier、Allgather、Gatherv和Scatterv集合通信函数实现基于拓扑感知的算法优化（包括非阻塞接口），Hyper MPI相较于开源Open MPI，集合通信性能有较高提升。

构筑自由生态

目前业界中主流MPI的实现均采用闭源发布策略，且不支持鲲鹏生态。Hyper MPI开源发布，支持以鲲鹏芯片为核心的服务器和集群。

- 集合通信是分布式计算中，进程组所有节点共同参与的全局协同通信模式，核心特点是“所有节点参与、遵循统一规则、实现数据全局协同”。

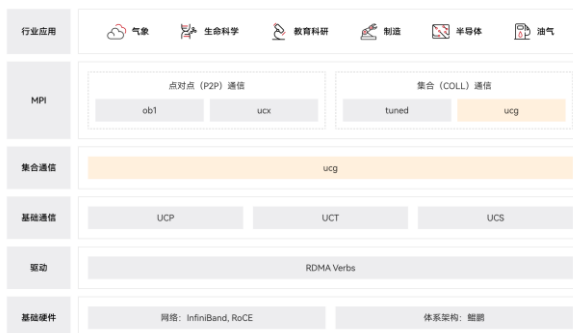
Hyper MPI功能

- Hyper MPI基于OpenMPI和OpenUCX演进，支持MPI-3.1标准，新增集合通信框架UCG。Hyper MPI通过优化集合通信算法，并使能节点间高速通信网络、节点内共享内存机制及硬件卸载能力，提升通信效率。

集合操作名称	函数简介
Allreduce	Allreduce是MPI组约函数。 作用：将各个独立进程中的send buffer进行数学（例如加法、乘法）或逻辑（例如与、或）运算，然后将结果同步到通信域内所有进程的receive buffer中。
Bcast	Bcast是MPI广播操作函数。 作用：root进程将buffer中的信息发送给通讯域内其余进程，使得所有进程获取相同的信息。
Barrier	Barrier是MPI同步函数。 作用：该通讯域中全部进程进行同步操作，即保证进程调用函数后具有良好的同步性。
Alltoallv	Alltoallv是MPI多对多通信函数。 作用：该通信域中全部进程进行点对点通信操作，发送数据至其他进程，并从其他进程接收数据，且通信中每个进程发送和接收的长度可变。
Allgatherv	Allgatherv是MPI数据收集函数。 作用：收集该通讯域中每个进程可变的数据，并将收集的数据传送给该通讯域中的所有进程。
Scatterv	Scatterv是MPI数据分发函数。 作用：该通讯域中根进程将不同的数据块分发给该通讯域中不同的进程。
Gatherv	Gatherv是MPI数据收集函数。 作用：收集该通讯域中每个进程可变的数据。

- Hyper MPI集合通讯算法支持最大发送数据包长度为232字节。

Hyper MPI软件架构



软件层	模块名称	用途
Hyper MPI	P2P	MCA框架中的点对点集合操作组件。
	COLL	MCA框架中的华为集合操作组件。
集合通信	UCG	集合通讯模块，UCX中的新增集合通讯组件，包含UCG集合通讯框架和UCG算法加速组件。
基础通信	UCP	UCP协议层，协议层API，基于UCT构建通用协议的实现，包括MPI、OpenSHMEM、PGAS等。
	UCT	通讯传输模块，基于硬件的底层API，提供基本的网络收发操作。
	UCS	通用服务与工具，包含一系列数据结构、算法以及通用的系统工具。

- Hyper MPI基于Open MPI的MCA框架和Open UCX的分层结构，进行自定义组件新增和优化。
- 与Open MPI相似之处：
 - Hyper MPI包含三个软件层：UCX（ Unified Communication X ）、UCG层和OMPI层，即HUCX、XUCG和Hyper MPI。
- 与Open MPI不同之处：
 - Open MPI采用P2P方式，Hyper MPI在UCX框架基础上增加集合通讯模块（UCG）。该模块南向接口直接依赖于UCT传输层，和协议层UCP相互并列；北向接口支持OMPI的MCA框架中的集合操作组件。

Hyper MPI关键特性

Hyper MPI针对Allreduce、Bcast、Barrier、Alltoallv、Allgatherv、Gatherv和Scatterv的阻塞与非阻塞接口这七种集合操作，进行了算法和拓扑感知层面的优化，达到特定集合通信小包情形下的极致性能。相较于其他MPI，Hyper MPI具有以下关键特性：



UCG模块

Hyper MPI除了包含Open MPI的所有特性之外，增加了集合通讯模块（即UCG模块），该模块中含有大量自研集合通讯算法，大幅度提升Allreduce、Bcast、Barrier、Alltoallv、Allgatherv、Gatherv和Scatterv的阻塞与非阻塞接口等集合通讯函数的性能。



KuComm组件

Hyper MPI在hmpi层集合通信coll框架下新增KuComm分层拓扑组件，提供分层拓扑框架能力，同时提供Bcast/Alltoall的阻塞集合操作接口，其他集合操作及点对点接口复用OpenMPI 4.x提供的功能。该组件为后续不同层级通信域使用各自最适合的集合通信组件，进行极致性能优化提供了良好基础。



FP16数据类型

Hyper MPI在hmpi层新增FP16半精度数据类型支持，支持AI4S场景基础加速库的开发。



支持鲲鹏环境

Hyper MPI可以在以鲲鹏芯片为核心的服务器和集群上发挥作用。

编译器概述

- 编译器的主要作用是把源代码转化为适配硬件的高效可执行程序，最大化发挥计算能力。

行业:	运营商	安平	金融	电力	政府	互联网	
应用:	大数据	数据库	存储	高性能计算	中间件		

源码解决方案

异构编程框架

单源码多算力编程，多芯片异构算力最佳

标准语言支持

创新编程抽象

多模式并行

GCC

开放、兼容

VLIW

函数重排

毕昇编译器 (C/C++)

单算力极致优化，多算力融合优化

Autotuner

自动矢量化

内存布局优化

SIMT并行及向量化

毕昇JDK (Java)

高性能、高可靠

GC优化

JIT优化

无源码解决方案

二进制翻译

应用平滑迁移
生态快速使能

X86->ARM64

ARM32

->ARM64

编译优化算法

DBO

有源码解决方案

- 多样性算力统一开发、统一编译，助力计算产业开发者极简编程，高效开发
- 单算力性能极致，跨算力融合优化，支撑计算各行业应用性能竞争力领先

无源码解决方案

- 二进制翻译技术，实现关键应用二进制跨指令集平滑迁移，性能达到原生80%以上

CPU

GPU

NPU

XPU

什么是毕昇编译器

- 毕昇编译器基于开源LLVM开发，并进行了优化和改进，同时支持Fortran语言前端，是针对鲲鹏平台的高性能编译器。除LLVM通用功能和优化外，对中端及后端的关键技术点进行了深度优化，并集成Autotuner特性支持编译器自动调优。



支持鲲鹏微架构芯片及指令优化



通过软硬协同
提供相较开源LLVM更高的性能



集成Autotuner特性
支持编译器自动调优

毕昇编译器的功能

- 除LLVM通用功能和优化外，对中端及后端的关键技术点进行了深度优化，并集成Autotuner特性支持编译器自动调优。
 - 高性能编译算法**：编译深度优化，增强多核并行化，自动矢量化等，大幅提升指令和数据吞吐量。
 - 加速指令集**：结合NEON/SVE等内嵌指令技术，深度优化指令编译和运行时库，发挥鲲鹏架构最佳表现。
 - AI迭代调优**：内置AI自学习模型，自动优化编译配置，迭代提升程序性能，完成最优编译。



- LLVM是一种涵盖多种编程语言和目标处理器的编译器，毕昇编译器聚焦于对C、C++、Fortran语言的支持，利用LLVM的clang作为C和C++的编译和驱动程序，flang作为Fortran语言的编译和驱动程序。

C, C++程序

clang不仅仅是将C/C++程序编译为LLVM IR的前端，还是一个驱动程序，调用的LLVM优化并生成目标代码，直到生成最终的二进制文件。毕昇编译器提供了端到端编译程序所需的所有工具和库。

Fortran程序

flang是专为LLVM集成而设计的Fortran前端，由两个组件flang1和flang2组成。它也是一个驱动程序，将源代码转换为LLVM IR，前端驱动程序将IR传输下去进行优化和目标代码生成。

什么是Autotuner

- Autotuner是一个命令行工具，与毕昇编译器交互使用。它管理搜索空间的生成和参数操作，并驱动整个调优过程。Autotuner目前推荐使用命令行工具llvm-autotune，llvm-autotune采用让用户主导调优过程的方式，提供辅助功能与编译器合作使用。

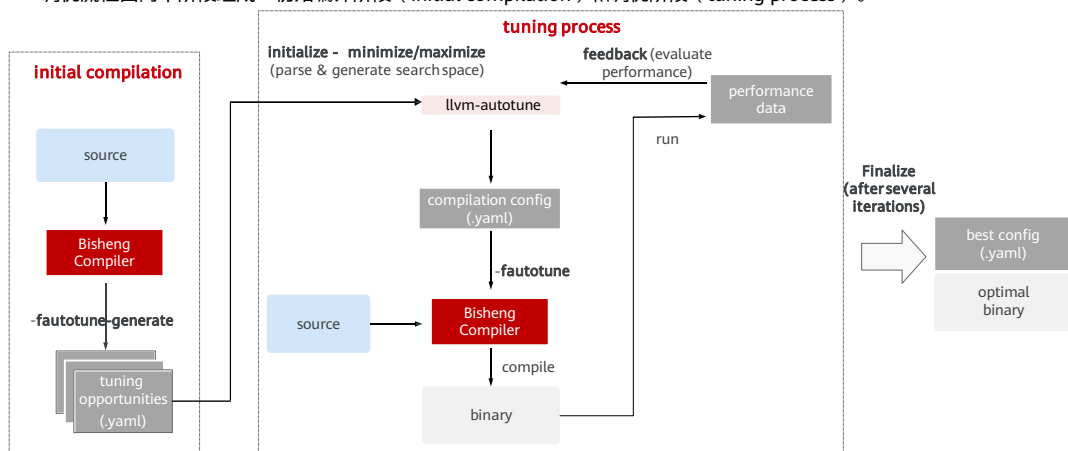


自动调优

一种自动化的迭代过程，通过操作编译设置来优化给定程序，以实现最佳性能。它由两个组件配合完成，毕昇编译器和Autotuner命令行工具。此功能不需要在源代码中注入pragma，而是允许用户在简单的yaml文件中指定优化配置，该文件包含优化信息及其相应的代码区域信息，包括名称和行号。此外，它还可以记录优化结果，以及可调优的代码区间并以yaml的形式导出。

Autotuner调优过程

- 调优流程由两个阶段组成：初始编译阶段（initial compilation）和调优阶段（tuning process）。



初始编译阶段

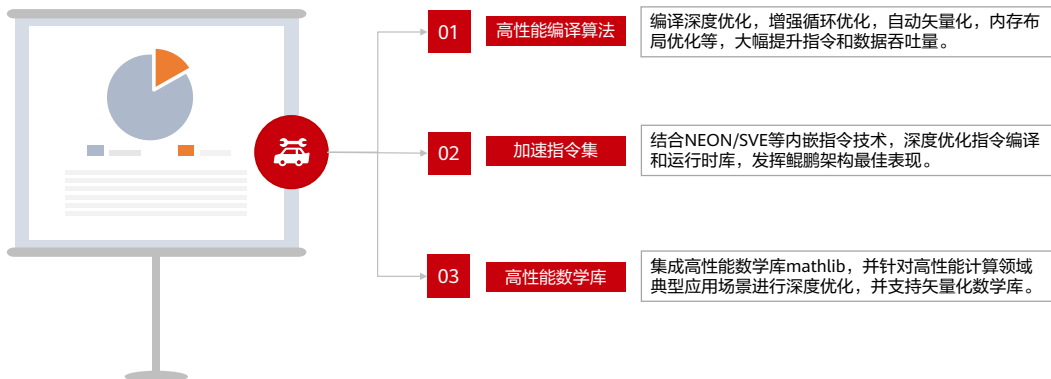
- 初始编译阶段发生在调优开始之前，Autotuner首先会让编译器对目标程序代码做一次编译，在编译的过程中，毕昇编译器会生成一些包含所有可调优结构的YAML文件，告诉我们在这个目标程序中哪些结构可以用来调优，比如文件（module）、函数（function）、循环（loop）。例如，循环展开是编译器中最常见的优化方法之一，它通过多次复制循环体代码，达到增大指令调度的空间，减少循环分支指令的开销等优化效果。若以循环展开次数（unroll factor）为对象进行调优，编译器会在YAML文件中生成所有可被循环展开的循环作为可调优结构。

调优阶段

- 当可调优结构顺利生成之后，调优阶段便会开始：Autotuner首先读取生成好的可调优结构的YAML文件，从而产生对应的搜索空间，也就是生成针对每个可调优代码结构的具体的参数和范围；调优阶段会根据设定的搜索算法尝试一组参数的值，生成一个YAML格式的编译配置文件（compilation config），从而让编译器编译目标程序代码产生二进制文件；最后Autotuner将编译好的文件以用户定义的方式运行并取得性能信息作为反馈；经过一定数量的迭代之后，Autotuner将找出最终的最优配置，生成最优编译配置文件，以YAML的形式储存。

什么是GCC for openEuler

- GCC for openEuler基于开源GCC 10.3版本开发，并进行了优化和改进，是一种Linux下针对鲲鹏服务器的高性能编译器。除支持GCC通用功能和优化外，还做了以下增强：



- GCC for openEuler编译器是面向鲲鹏和openEuler生态的优选高性能编译器，基于开源GCC（GNU Compiler Collection，GNU编译器套装）开发和全场景优化，生态成熟度高。开源GCC是一种支持多种编程语言的跨平台开源编译器，采用GPLv3（GNU General Public License, version 3）协议，是Linux系统上目前应用最广泛的C/C++编译器，基本被认为是跨平台编译器的事实标准。而GCC for openEuler在继承了开源GCC能力的基础上，聚焦于C、C++、Fortran语言的优化，增强指令优化、内存优化、自动向量化等特性，并适配国产硬件平台，如鲲鹏、飞腾、龙芯等，充分释放国产硬件算力，支持与openEuler性能/安全/可靠/运维工程进行协同，对接编译器插件框架，提供通用化插件功能，支持多样算力特性和微架构优化，并通过整合业界领先的反馈优化技术，实现自动反馈优化，提升数据库等场景应用性能。

GCC for openEuler基本架构

- GCC for openEuler与开源GCC架构保持一致，使用gcc/g++/gfortran作为C/C++/Fortran语言编译器驱动，经过预处理、编译、汇编、链接，最终生成目标二进制。
- 除GCC通用功能和优化外，对中端及后端的关键技术点进行了深度优化，并支持四精度浮点、矢量化数学库等特性。
- GCC for openEuler提供了jemalloc/mathlib库，jemalloc是一个通用的malloc实现，着重于减少内存碎片和提高并发性能，mathlib是高性能计算领域的高性能数学库，以动态库的方式存放于GCC for openEuler工具链中。



GCC for openEuler

编译语言

C

C++

Fortran

编译优化

循环优化

自动矢量化

内存映射优化

结构体拆分

常量传播优化

除法优化

指令集优化

指令扩展

NEON/SVE

流水线优化

鲲鹏运行时库

什么是毕昇JDK



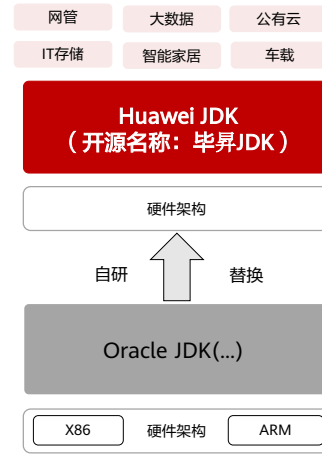
毕昇JDK

- 毕昇JDK是基于OpenJDK定制的Huawei JDK的开源版本，是一款高性能、可用于生产环境的OpenJDK发行版。毕昇JDK应用于华为内部数百个产品，团队积累了丰富的开发经验，解决了业务实际运行中遇到的多个疑难问题；在GC、鲲鹏后端代码生成、类信息共享等方面重点优化，在大数据等领域性能突出。
- 毕昇JDK致力于为JAVA开发者提供一款**稳定可靠、高性能、易调测**的JDK，也为用户在鲲鹏架构上提供一个更好的选择。



详细信息

- 支持Java版本：目前毕昇JDK支持8、11、17、21四个LTS版本。
- 支持架构：支持Linux/AArch64、Linux/x86_64架构。
- 兼容服务器：Intel、海光、鲲鹏等。
- 支持操作系统：目前仅支持Linux版本，对操作系统的要求glibc版本不低于2.17，比如openEuler全系列操作系统、CentOS 7.6、Ubuntu 20.04、Ubuntu 22.04、麒麟V10、UOS 20等。



- 高性能：自研JDK性能优于当前使用的业界商用JDK。
- 易调测：商用JDK出问题，响应时间慢，JDK系统复杂，需要提供调测工具，提升问题定位效率5+倍。
- 全兼容：覆盖全部业务场景。

毕昇JDK与其他JDK对比

对比项	OpenJDK	OracleJDK	毕昇JDK
API兼容性 (满足Java SE规范)	√	√	√
多平台支持 (X86、ARM)	√	√	√
稳定性	支持规模商用	支持规模商用	支持规模商用
性能	Base (基线)	SPECjbb2015 5%+ [†] (鲲鹏下)	SPECjbb2015 20%+ [†] (鲲鹏下)
差异化特性	NA (基础)	JFX、JMC、JRocket、EPP性能工具包 (EPP性能工具包只提供给付费订阅服务客户)	自研特性: AppCDS、加解密KAE加速、国密、鲲鹏专属优化、调试工具增强等
漏洞更新	一般 (发现后随下一个小版本GA合入)	略好 (同样随下一个小版本GA合入, 推送更新通知, 再推送OpenJDK社区)	较好 (随时, 可临时发版本, 漏洞同时同步OpenJDK社区、商用发现两类)
问题讨论及时性	一般 (OpenJDK社区邮件讨论)	一般 (Oracle技术支持热线)	略好 (鲲鹏、openEuler社区答疑, Compiler SIG讨论群、毕昇编译公众号多渠道)
商业模式	免费 (可自构建或采用厂商构建发行版)	订阅付费更新	社区开源版免费使用、带维保的商业发行版

数学库KML

- 鲲鹏数学库（KML）是基于华为鲲鹏处理器深度优化的高性能数学计算加速库，支持快速傅里叶变换、矩阵计算、向量化运算、三角函数、对数等常用数学函数，由KML_BLAS、KML_SPBLAS、KML_VML、KML_MATH、KML_FFT和KML_LAPACK等多个子库组成，可提供业务需求集成使用。
- KML提供了基于鲲鹏平台优化的高性能数学函数，所有接口由C/C++、汇编语言实现，部分接口兼容Fortran语言调用，部分提供Java语言封装的接口。



24 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.



- KML仅适用于鲲鹏处理器。
- 为获得最优性能，KML接口内部不做完整入参校验，入参合法性由调用方业务来保证。

KML组成部分（1）

序号	库名	描述	适用场景
1	KML_BLAS	基础性线性代数运算数学库（Basic Linear Algebra Subprograms），基于鲲鹏架构，通过向量化、数据预取、编译优化、数据重排等手段，对BLAS的计算效率进行了深度挖掘，使得BLAS接口函数的性能逼近理论峰值。	向量-向量运算。 向量-矩阵运算。 矩阵-矩阵运算。
2	KML_SPBLAS	稀疏基础性线性代数运算库（Sparse Basic Linear Algebra Subprograms），基于鲲鹏架构为压缩格式的稀疏矩阵提供了高性能向量、矩阵运算。充分利用鲲鹏的指令集和架构特点，开发了高性能稀疏矩阵运算库，提升高性能计算和大数据解决方案业务性能。	稀疏的向量-向量运算。 稀疏的向量-矩阵运算。 稀疏的矩阵-矩阵运算。
3	KML_VML	向量数学库（Vector Mathematical Library），通过 NEON指令优化、内联汇编等方法，对输入数据进行向量化处理，充分利用了鲲鹏架构下的寄存器特点，实现了在鲲鹏服务器上的性能提升。	向量的数学运算，包括幂函数、三角函数、指数函数、双曲函数、对数函数等。
4	KML_MATH	基础运算数学库，通过周期函数规约、算法改进等手段，提供了基于鲲鹏处理器性能提升较大的函数实现。	基础数学运算，包括三角函数、对数函数、指数函数、幂函数运算。
5	KML_FFT	快速傅里叶（Fast Fourier Transform）运算库，是快速计算序列的离散傅里叶变换（DFT）或其逆变换的方法，广泛的应用于工程、科学和数学领域，将傅里叶变换计算需要的复杂度从 $O(n^2)$ 降到了 $O(n \log n)$ ，被IEEE科学与工程计算期刊列入20世纪十大算法。	FFT的C2C、C2R、R2C、R2R变换。
6	KML_LAPACK	线性代数运算库（Linear Algebra PACKage），通过分块、求解算法组合、多线程、BLAS接口优化等手段，基于鲲鹏架构对LAPACK的计算效率进行了优化。	线性方程组运算，包括求解、特征值和奇异值问题求解等。
7	KML_SVML	短向量数学库（Short Vector Mathematical Library），通过NEON指令优化、内联汇编等方法，对输入向量进行批量处理，充分利用了鲲鹏架构下的寄存器特点，实现了在鲲鹏服务器上的性能提升。	向量的数学运算，包括幂函数、三角函数、指数函数、双曲函数、对数函数等。

KML组成部分（2）

序号	库名	描述	适用场景
8	KML_SOLVER	稀疏求解器库（Sparse Solvers），提供直接求解器和迭代求解器，支持单节点多线程、集群MPI多进程。	单机版：稀疏对称正定矩阵、稀疏一般矩阵线性方程组迭代求解。 集群版：稀疏对称正定矩阵线性方程组迭代求解，正定埃尔米特矩阵线性方程组直接求解。
9	KML_JAVA	基于JNI技术，用Java语言封装的KML数学库。	BLAS、VML。
10	KML_SCALAPACK	分布式的线性代数运算库（Scalable Linear Algebra PACKage），通过分块、求解算法组合、多进程优化等手段，基于鲲鹏架构对SCALAPACK的计算效率进行了优化。	线性方程组运算，包括求解、特征值和奇异值问题求解等。
11	KML_VSL	向量统计库（Vector Statistical Library），包含多种随机数生成函数，可以生成服从不同分布的随机数。	服从不同分布的随机数生成。
12	KML_NUMPY	使用KML封装的Python Numpy模块。 KML_NUMPY库提供了40个适配KML或自行优化后的接口，优化的数据类型为FLOAT和DOUBLE，涵盖了基础运算、傅里叶变换、统计和线性代数四个部分。	基础运算、傅里叶变换、统计和线性代数。
13	KML_EIGENSOLVER	特征值求解库，支持求解大型对称/共轭矩阵部分特征值与特征向量，支持MPI多节点。	实对称/复共轭矩阵的特征值求解。
14	KML_IPL	插值库（Interpolate Library），包含多种常用的插值函数，用于数值分析。	离散数据的拟合。

KML应用场景



大数据

机器学习算法



高性能计算

科学计算、气象、基因、仿真



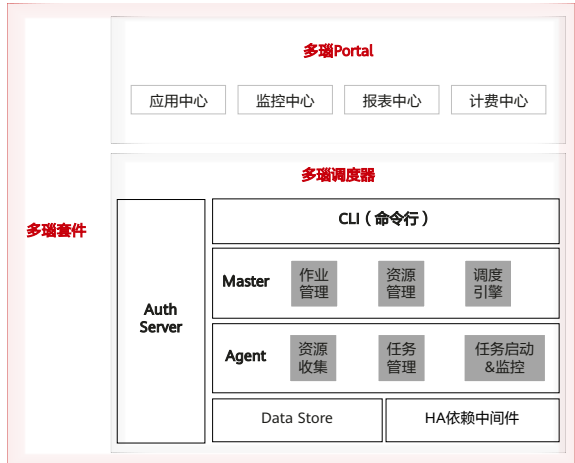
AI人工智能

语音识别、图像识别

目录

1. 高性能计算解决方案
2. 基础软件HPCKit
- 3. 集群管理与调度DonauKit**
4. 工具套件DevKit

高性能计算管理与作业调度平台 - 多瑙套件



高效调度

- 支持**百万核**作业调度
- 丰富成熟的调度策略

极简管理

- 多瑙Portal集成**四大中心**功能，通过Web界面可视化管理集群
- 设计计算一体化**，数据不出湖，端到端保障数据安全

多样性支持

- 支持**鲲鹏/x86/GPU**多样性算力混合部署
- 支持**多集群统一管理**

安全可靠

- 安全增强，支持**计算加密通信**和**三员管理**等安全保障能力

高性能计算管理与作业调度平台 - 多瑙套件

多瑙Portal

- 通过可视化界面为用户提供了便捷的HPC集群系统数据管理和软硬件资源管理功能，串联整个工作流程，帮助用户合理地进行作业调度和资源分配，提升集群系统计算能力利用率。

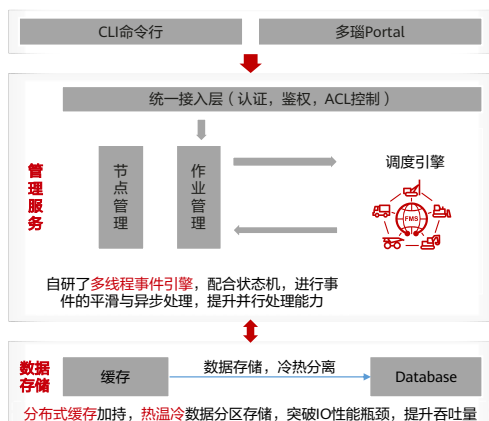


多瑙调度器

- 提供大规模集群下的高资源利用率、高吞吐量的作业调度能力



多瑙调度器



超大规模调度

模块化，事件驱动，**利用多核技术**，并行化，异步化提高整体性能。

高效资源分配

调度引擎多维度抽象，调度阶段和调度策略灵活组合，平衡调度性能和精确性。

高吞吐量

分布式缓存加持，**热温冷数据分区存储**，突破调度器IO性能瓶颈，整体提高吞吐量。

- 多瑙调度器目前已经支持多样性算力的融合调度；单集群最大规模38万核，后续的集群规模将会达到百万核；首创多调度阶段和调度策略的灵活组合的方式，使得调度引擎的资源分配率高达90+%；基于benchmark测试，多瑙的吞吐量端到端可以达到每小时400万以上。
- 调度系统中，管理节点作业整个系统的瓶颈，必须要保证高性能。为此华为自研消息队列作为事件引擎，配合状态机，进行事件的平滑与异步处理，极大提高了系统的并行处理能力；支持38万核超大规模资源调度与管理；缓存加持的存储系统，端到端吞吐量高达每小时400+万；作业提交速率达到1500+个/秒，20 W活动作业在1分钟以内就可以完成查询。

多瑙调度器 - 调度框架



- FIFO调度策略：先进先出的排队策略，其特点是可为先到来的报文分配资源。
- Fairshare调度策略：公平调度策略起源于操作系统CPU的调度。其核心思想是让系统中的多个用户/用户组有均等的机会获得有限的CPU资源，而不是让系统中的多个进程有均等的机会获得CPU资源。

多瑶调度器 - 调度策略

亲和性调度

- 支持节点NUMA拓扑结构感知，进行CPU-Memory亲和性调度。
- 支持MPI作业和非MPI作业的亲和性调度。

公平调度

- 基于资源池设定资源分配和调度策略。
- 基于负载为各个组织或者项目组动态分配和调整资源。

GPU卡自动绑定调度

- 支持给应用自动分配绑定可用的GPU卡，并防止用户偷用未分配的GPU卡。

抢占调度

- 为高优先级作业释放资源。
- 被抢占的作业挂起而不被杀死。

节能调度

- 支持节点级别的自动节能调度和手动节能控制操作。

独占节点调度

- 支持单个作业独占整个节点，以防止其他作业竞争资源互相干扰。

全局优先级调度

- 支持集群中所有作业拉平按照全局优先级统一调度。
- 支持在局部Account内部，所有作业采取全局优先级调度。

MPI任务分布节点亲和

- 支持指定MPI作业的执行节点数量和每个执行节点的任务数量。

Limit资源限制

- 基于用户、队列或组织Account，设置可用的节点范围、最大CPU核数、内存及GPU卡数。

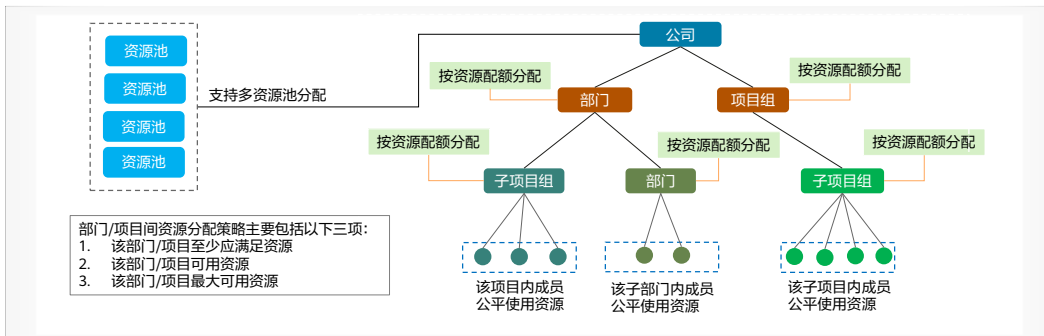
License许可证调度

- 支持管理、监控及调度应用许可证

...

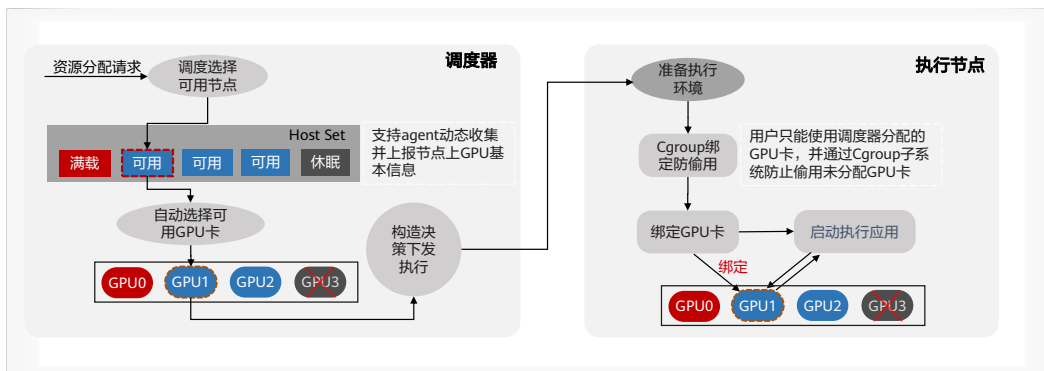
公平调度、资源借用和资源回收策略

- 支持多资源池模型，支持CPU/Memory粒度和Node节点粒度的资源分配调度。
- 公平调度策略基于负载为各个组织或者项目组动态分配和调整资源，部门内部保证资源使用的公平。
- 资源借用，允许Account之间借用未使用的配额资源；支持基于队列限制的资源借用，同时支持跨资源池借用未使用的资源配额。
- 资源回收策略，支持当Account下存在Pending作业时，主动回收其应得的配额资源；支持慢回收和快回收。该策略通常与资源借用配合使用。



GPU卡自动绑定调度

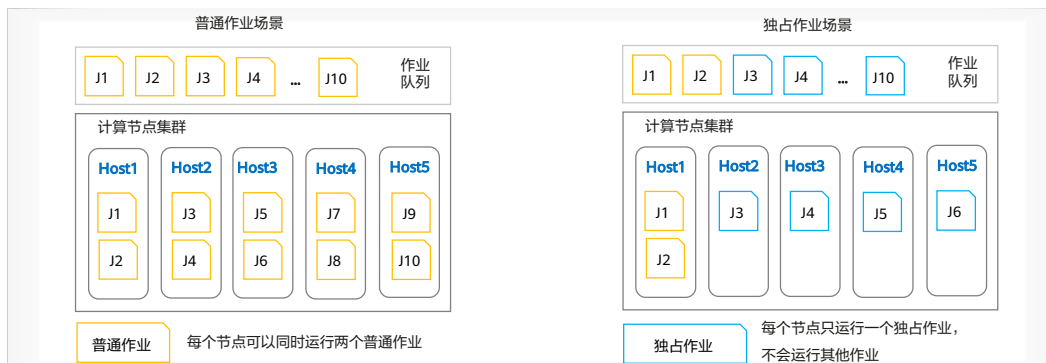
- 支持给应用自动分配可用的GPU卡，并绑定执行，防止偷用未分配的GPU卡，提升GPU卡使用率。
- 同一MPI作业内，支持不同的Rank进程绑定使用不同的GPU卡。



- GPU卡被偷用的情况：
 - 例子一：用户提交作业需要1个卡，但是应用运行起来偷用3个卡。
 - 例子二：不同的作业运行在同一张卡上，导致有的卡忙，有的卡很闲（GPU卡忙会运行慢，导致应用卡）。

作业独占节点调度

- 支持作业独占调度，作业独占计算节点运行后，其他作业不会再调度到该节点上运行，减少不同作业共享机器执行时的干扰。
- 用户通过命令 “`dsub -ex job userapp`”，提交一个独占作业。

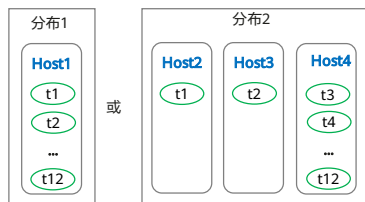


节点偏好和MPI作业任务分布节点亲和调度

- 支持指定作业运行的偏好节点或资源池范围，并指定偏好节点的权重；例如：`dsub -pn 'n1+2 respool1 !nodeB' <userapp>`。
- MPI作业支持指定运行的节点数量和每个节点的最大任务数；例如：`dsub -N 12 -job_type cosched:hmpi -nn 3 -tpn 4 <userapp>`。

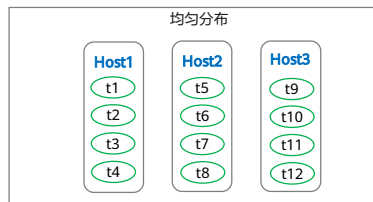
未指定节点数量和单节点任务数：随机分布

`dsub -N 12 -job_type cosched:hmpi <userapp>`



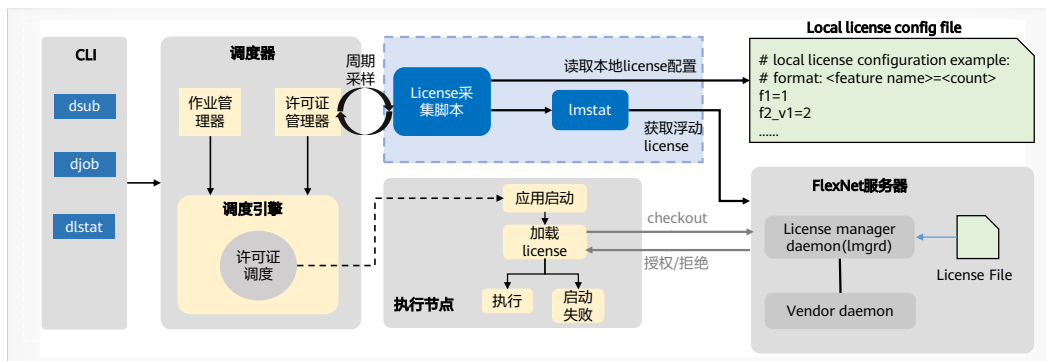
任务节点亲和调度：均匀分布

`dsub -N 12 -job_type cosched:hmpi -nn 3 -tpn 4 <userapp>`



License许可证调度

- 支持管理、监控及调度应用许可证。
- 支持在作业维度和任务维度指定许可证数量，例如：`dsub -jR'f1=2;f2=1'<userapp>`或`dsub -R'f3=2'<userapp>`。
- 许可证的来源支持静态文件配置，和FlexNet许可证管理服务。



多瑙Portal

集成四大中心

可视化管理集群，提升管理效率

集成四大中心，为用户提供统一的管理平台。

- 应用中心统一管理用户作业与数据
- 监控中心、报表中心与计费中心三个方面支持高性能计算集群运营与管理。
- 更多平台基础能力提升高性能计算集群管理效率。

设计计算一体化

数据不出湖，保障数据安全

- 支持2D/3D远程可视化。
- 计算结果全流程不出数据中心，端到端保障数据安全。

多集群管理

实现资源的统筹规划和高效利用

- 支持Donau/LSF等调度集群统一管理。
- 支持多集群作业模板统一集成、作业/数据统一管理、资源统一监控。

集成四大中心 - 应用中心

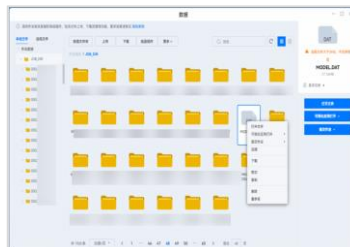
- 应用集成：支持以可视化、拖拉拽的方式实现应用快速集成、测试、发布。
- 作业管理：支持以可视化方式提交作业，可查看并控制所提交的作业的运行状态。
- 数据管理：支持用户数据统一查看，统一管理。



应用集成



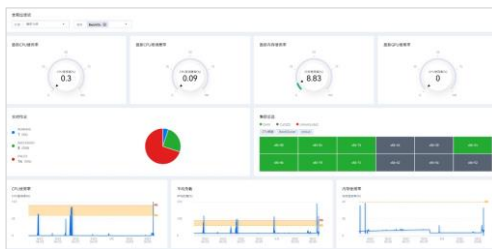
作业管理



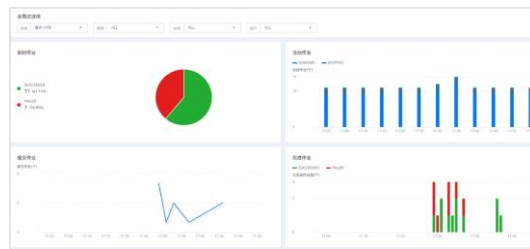
数据管理

集成四大中心 - 监控中心

- 对集群资源运行情况提供集群、资源池、节点类型和单个节点等维度的监控，包括：
 - 展示最新集群状态分布及各节点状态。
 - 展示最新集群资源利用率，如CPU、Memory、GPU等。
 - 展示最近14天内集群资源使用趋势，如CPU、Memory、GPU、swap、tmp、网卡等。
- 提供对集群内作业运行情况的监控，包括：
 - 展示最新集群运行作业状态分布。
 - 展示最近14天内集群作业运行状态趋势，如活动作业数、完成作业数、提交作业数等。



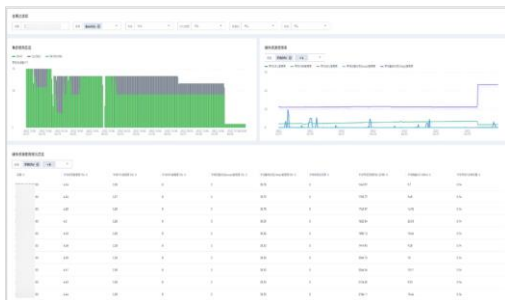
集群资源总览



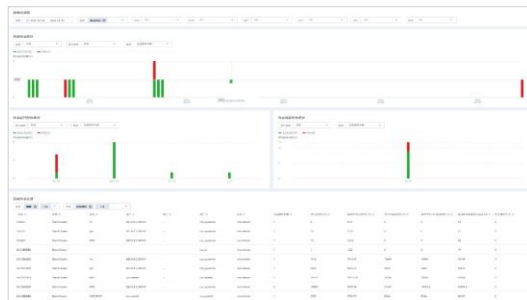
作业状态总览

集成四大中心 - 报表中心

- 对集群资源的使用历史提供集群、节点类型或单个节点等维度的分析，包括：
 - 可按节点状态分析。
 - 随时间展示集群资源利用率分析，如CPU、Memory、I/O、GPU、swap、tmp等。
- 提供对集群内运行作业分析，包括：
 - 非活动工作负载统计：展示完成作业信息，对集群中任何时间段内已完成的作业进行详细分析。
 - 分析作业吞吐量、运行时间、CPU使用率、内存使用率。



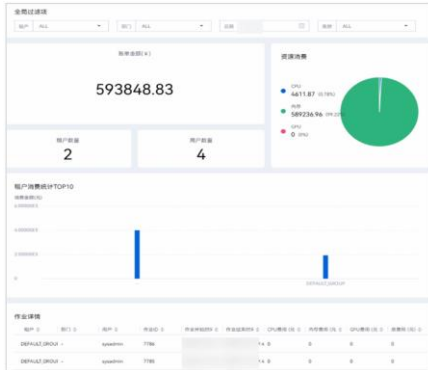
硬件总览



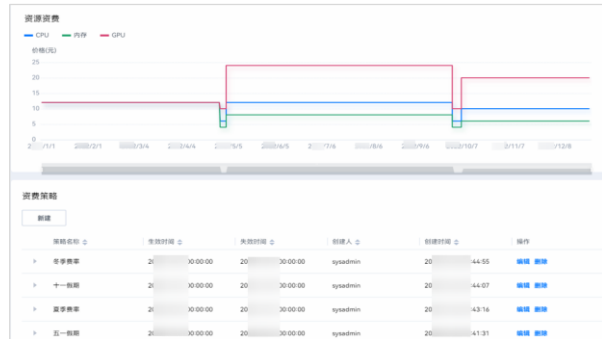
完成作业统计

集成四大中心 - 计费中心

- 管理员可以对CPU、内存、GPU分别进行资费设置。
- 管理员可以查看用户对系统资源的使用费用及消费趋势。



账单管理



资源资费

集成四大中心 - 基础能力

- 用户管理：支持直接在多端Portal中管理LDAP服务端用户，支持查看用户登录记录。
- 用户权限：支持对接LDAP、NIS和系统本地的用户管理，添加用户并管理用户权限。
- 多端调度器配置管理：支持可视化配置多端调度器资源调度策略和限制策略。
- 告警管理：支持多端集群内关键模块的故障告警。

用户管理



用户权限



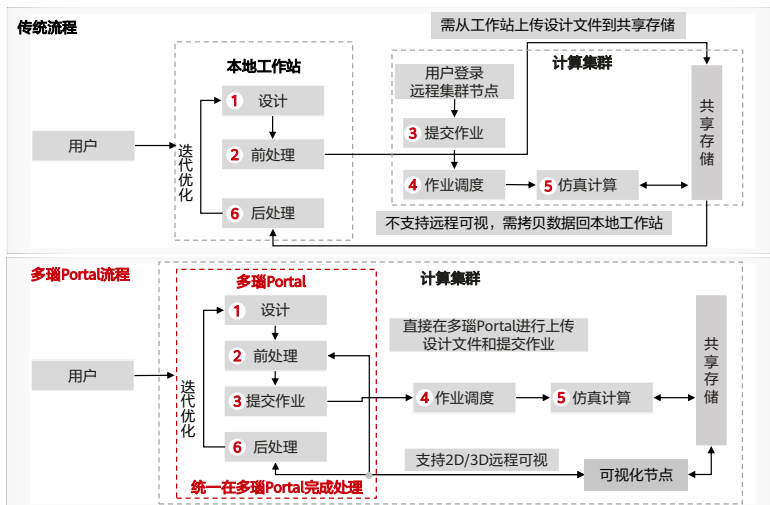
多端调度器配置管理



告警管理



设计计算一体化

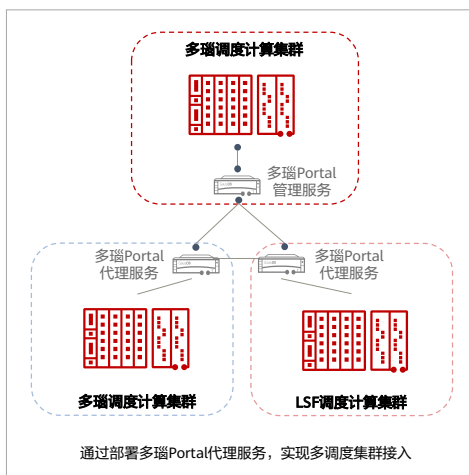


• 多瑙Portal提供**设计计算一体化集成能力**

• **效率更高：支持2D/3D远程可视**，避免数据重复拷贝，大幅提升工作效率

• **数据更安全：计算结果全流程不出数据中心**，端到端保障数据安全

多集群管理



作业模板 统一集成

支持基于Web可视化方式, 完成多集群脚本及相同作业模板的统一集成。

作业 统一管理

支持对多集群作业进行信息收集、统一管理和调度。

数据 统一管理

基于数据管理对各集群作业数据进行统一查看和操作。

资源 统一监控

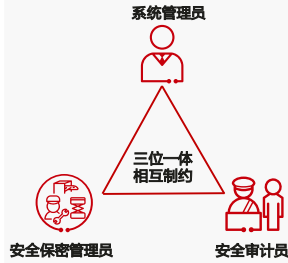
统一管理多集群资源, 可视化监控不同集群资源使用情况。

安全可信



“三权分立”的安全保护机制

- **三员管理**，三种角色互相制约，从源头控制不同角色的权限；
- **最小授权**，支持作业级，模块级的单独授权，避免有意或无意泄密。



数据安全

- **数据完整性**，保护数据不被随意篡改、删除、创建和复制；
- **加密数据、加密通信**，保障数据存储和数据通信的机密性；
- **证书认证**，保障用户身份可信。



软件安全

- **访问权限控制**，目录和文件都设置最小权限，利用Capabilities机制获得root权限；
- **软件健壮**，防SQL注入、防DDOS攻击、防命令注入、使用安全函数、安全加固；
- **日志审计**，支持日志审计、防抵赖。



目录

1. 高性能计算解决方案
2. 基础软件HPCKit
3. 集群管理与调度DonauKit
- 4. 工具套件DevKit**

鲲鹏原生开发：1套代码+1条流水线->多平台版本

多样性算力开发挑战

x86流水线
x86代码仓

迁移适配

鲲鹏流水线
鲲鹏代码仓

不同流水线构建&交付，效率低

两条流水线分别构建和发布
效率难以匹配市场快速迭代

两套代码开发&维护，成本高

迁移适配方式生成两套代码
重复开发验证工作量大



鲲鹏原生开发

基于鲲鹏硬件、openEuler、鲲鹏DevKit、鲲鹏BoostKit，实现1套代码+1条流水线->多平台版本，助力伙伴持续且首发性能领先的商用版本



代码开发（2）

业务挑战

- 现有开源工具不能有效提示鲲鹏函数和编译选项使用方法，快速获取鲲鹏场景化SDK的API接口描述。

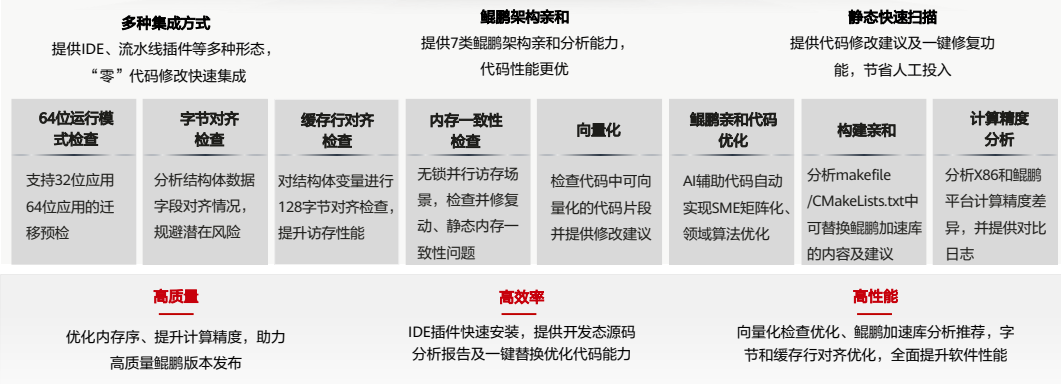
方案价值

- 鲲鹏DevKit针对高频开发场景提供场景化SDK、代码样例，功能齐全、注释完整，帮助开发者快速上手鲲鹏开发。
- 提供启发式编程，快速完成代码编写，无需反复查阅资料。



鲲鹏亲和分析

鲲鹏亲和分析，多维度扫描优化打造鲲鹏亲和应用



代码编译

面向不同技术路线，提供三款鲲鹏架构优化的编译器工具链

毕昇编译器（Bisheng Compiler）

面向嵌入式、服务器、云、边缘的全场景高性能编译器，基于开源LLVM开发并进行优化和改进

推荐场景：
高性能计算、金融等对计算性能要求高场景

SPEC2017性能比GCC10.3高**40%+**

HPC Top应用性能提升**10%**

支持C/C++/Fortran语言标准规范

毕昇JDK（Bisheng JDK）

开源

面向鲲鹏和openEuler生态的优选JDK，基于OpenJDK开发和优化，可用于生产环境

推荐场景：
大数据应用、云计算、鲲鹏服务器的JAVA应用

SPECjbb2015比OpenJDK8提升**25%**

SPECjbb2015 GC停顿时延降低**10%**

支持JDK8\JDK11\JDK17的规范

GCC for openEuler

开源

面向鲲鹏和openEuler生态的优选高性能编译器，基于开源GCC开发和优化，切换成本低

推荐场景：
对计算性能要求不高的通用场景

SPEC 2017比开源GCC10.3高**20%+**

更好的支持鲲鹏指令和流水线

支持C/C++/Fortran语言标准规范

高性能

编译优化、鲲鹏指令集适配，AI迭代调优自动优化编译配置，性能业界领先

高安全

内存、线程安全检查等，编译时发现代码安全漏洞

简单易用

零修改切换，无需二次开发，快速部署

生态成熟

支持C/C++/Fortran/Java语言标准，ARM/X86等多算力支持

53 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.



- GC：graphics context，图形环境。

应用调试

传统/开源调试工具

- **门槛高:** 命令行调试难度大, 进程分组通信关键信息不直观
- **效率低:** 每次修改需反复手动上传源码
- **难获取:** HPC/CUDA调试难度大, 现有工具昂贵/无法购买



业界首款开放的并行调试器, 提供四大调试能力, 降低关键场景调试门槛

通用应用调试	HPC并行应用调试	CUDA应用调试	安全应用调试
• 支持本地/远程调试 • 显示变量、监视、断点和调用堆栈信息	• MPI+OpenMP多线程调试 • 大规模集群2K MPI Rank并行调试, 支持MPI dead-lock检测	• 支持GPU和CPU同步调试, 支持源码/汇编语言调试 • Launch/Attach GPU调试模式	• Java或Python工程的安全应用调试 • 在REE侧获得TEE安全应用运行Log, 对TEE安全应用进行调试
简单	全面	高效	
图形化界面, 多维度调试信息图表化展示, 无需调试命令轻松上手	支持单/多节点调试、异构算力调试、全局分级调试 支持C/C++/Fortran语言、汇编代码调试	支持远程调试, 无须来回切换开发和调试工具, IDE中一站式完成	

性能调优

挑战

针对软件运行时的性能瓶颈，**传统手动调优方式**，手段单一，定位困难，对人员技能要求高，效率和准确率低下。**现有开源工具**功能分散、难以实现全局分析和优化。

方案

鲲鹏DevKit性能分析能够在软件运行状态下，自动采集系统数据，分析出系统性能指标，定位到瓶颈点及热点函数，给出调优建议，从而达到软件和鲲鹏平台融合的最佳性能。

快速开箱即优

鲲鹏自动调优KAT

基于AI算法实现参数自动迭代寻优

内置参数：系统/微架构/推理/Java（JVM/GC等）/业务（大数据/数据库/TensorFlow Serving）

北向模板：自定义场景参数快速适配

调优后参数重要性分析

精准深度优化（Web&命令行）

鲲鹏性能定界KSYS

一键采集现场调优关键指标可视化时序分析，定界问题根因

采集：微观/宏观、性能数据、HCCS带宽精细化分析、920新型号SVE/SME指令集分析等；

报告：时间线可视化展示

对比：同构/异构性能数据

系统性能分析

全面收集和分析软硬件各层次的性能指标，定位到具体瓶颈点及热点函数，给出优化建议。

通用分析

920新型号&950主频/温度/功耗采集

微架构分析

Python热点分析

热点函数分析

系统部件分析

访问分析

NUMA精细化分析

I/O分析

专项分析

Roofline分析（理论峰值对比）

HPC集群检查/应用分析

锁与等待分析

JAVA性能分析

图形化显示Java程序的信息，收集热点函数、定位程序瓶颈点并采取针对性优化。

在线分析

目标JVM/Java程序分析 高精准度

热点函数

调用

HTTP/SQL

内存/NoSQL

线程/锁快照/对比

GC

I/O

采样分析

系统额外开销小

热点快照/对比

GC

线程/锁数据导入/导出对比分析

全面

200+软硬件性能指标采集与分析、全面发现系统瓶颈

专业

100+参数优化建议，汇集专家经验、day级快速调优

可视

图形化界面展示，精准到函数，简单易用

56 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.

 HUAWEI

系统诊断

挑战

针对应用层经常容易出现的故障和问题，**传统定位工具**复杂、学习成本高、定位时间长，无法针对具体问题快速进行故障排除。

方案

鲲鹏DevKit通过分析系统运行指标，识别异常点，例如：内存泄漏、内存越界、网络丢包等，并给出优化建议。支持压测系统，如：网络IO、存储IO，评估系统最大性能。

鲲鹏健康检测Kspect

采集分析CPU/内存/网卡/PCIe/硬盘/BMC/RAID等健康度，排除由于硬件故障或配置错误导致的性能劣化。

内存插法、硬件降频、性能配置项、网络、**固件采集、硬盘配置、灵衢参数采集分析**
硬件信息对比：鲲鹏数据对比、鲲鹏和X86数据对比

(CLI)

JVM波动检测

动态观测JVM内部状态，检测导致应用性能波动的JVM异常因素，分析关联事件，给出消减建议，实现分钟级检测、定位。

Code Cache
JIT*

Code Cache
Flush新算法

函数分支预测

(CLI)

内存带宽时延检测

采集内存访问时延、可视化呈现变化趋势、定位性能拐点。

提供多种读写访问场景，支持压测带宽灵活调节

支持内存访问精细化控制（指定NUMA节点）

(CLI: kmlt*)

CPU故障检测

针对鲲鹏芯片的核失效检测，通过相关指令执行结果判定CPU执行是否正确，确认是否存在CPU故障。

多指令集覆盖：浮点、整形、SIMD、分支指令、混合指令等

支持鲲鹏920/920新型号/950检测

(CLI: Kunpeng_stl*)

内存/网络/存储IO诊断

压测存储/网络IO，评估最大能力，为性能优化提供基础参考数据。识别应用程序中存在的内存使用的问题点，提升程序的可靠性。

吞吐量/IOPS/时延等

内存未释放和异常释放

网络拨测、丢包诊断、网络抓包、系统负载监控等

(Web/CLI)



灵活部署

支持单台/多台服务器部署，及混合部署



简单易用

与性能分析工具同一入口，图形化界面简单易用



精准高效

覆盖80%问题诊断场景、故障定位准确率90%

流水线集成



思考题

1. （单选题）在鲲鹏高性能计算中，以下哪一项属于基础软件HPCKit？
- A. 多瑙调度器
 - B. 多瑙Portal
 - C. 通信库
 - D. DevKit

- 参考答案：C。

本章总结

- 本章讲述了：
 - 鲲鹏HPC解决方案全景图
 - 基础软件HPCKit（通信库、数学库、编译器）的功能原理
 - 集群管理与调度DonauKit（集群管理平台、作业调度器）的功能原理
 - 鲲鹏开发套件DevKit的一站式开发工具链

学习推荐

- 鲲鹏社区高性能计算技术主题: <https://www.hikunpeng.com/developer/hpc>
- 鲲鹏高性能计算官方文档:
<https://www.hikunpeng.com/document/detail/zh/kunpenghpcs/overview/kunpenghpcs.html>
- 鲲鹏高性能计算解决方案Support文档:
<https://support.huawei.com/enterprise/zh/high-performance-computing-solutions/kunpeng-hpc-solution-pid-262039693>

Thank you.

把数字世界带入每个人、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界。
Bring digital to every person, home, and
organization for a fully connected,
intelligent world.

版权所有 © 华为技术有限公司 2026。

保留一切权利。

未经华为事先书面许可，任何人不得对本资料进行复制、修改、
整合、改编、翻译，也不得将本资料或其任何部分或基于本资
料的衍生作品提供、出售、转让、再许可给任何人用于华为
许可以外的任何其他用途。

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2025.

All Rights Reserved.

Without prior written permission of Huawei, no one is
allowed to reproduce, modify, integrate, adapt, translate
this Document, or provide, sell, transfer, sublicense this
Document or any part of this Document or its derivative to
any third party for any other purpose otherwise permitted
by Huawei.



人工智能计算中心基础设施



前言

- 随着AI大模型的爆发式增长，传统数据中心的制冷、供电和能耗问题日益凸显，需通过液冷技术、高密度布局及智能化管理实现能效提升。
- 本章聚焦人工智能计算中心的基础设施演进方向与关键技术，旨在解析智算中心如何应对高密度算力快速交付及绿色化等挑战。系统阐述智算中心的建设趋势、机房需求变化及液冷方案的实施要点，为行业实践提供参考。

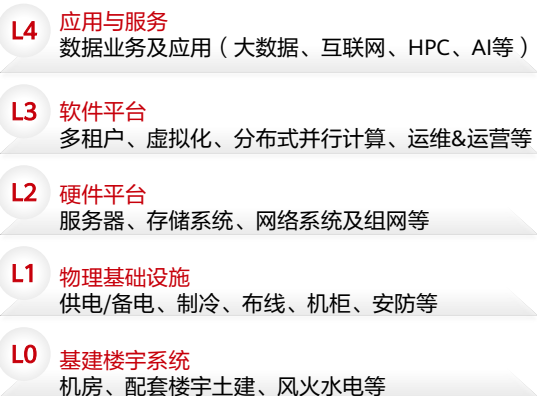
目标

- 学完本课程后，您将能够：
 - 了解智算中心与传统数据中心在基础设施建设方面的核心差异及技术演进逻辑；
 - 熟悉液冷技术的分类、冷板式方案的实施流程及配套基础设施要求；
 - 掌握智算数据中心的供电设计、散热优化及绿色化策略。

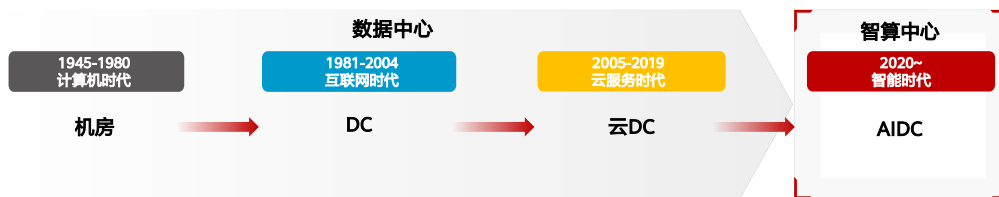
目录

1. 智算中心基础设施发展趋势与挑战
2. 智算中心液冷技术
3. 智算中心基础设施需求分析
4. 智算中心基础设施建设方案

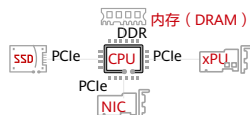
智算中心系统架构分层概览



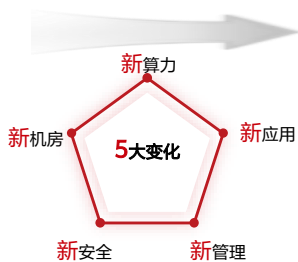
数据中心向智算中心演进



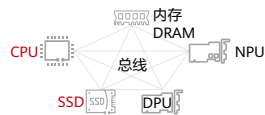
传统数据中心：以CPU为中心



- 主要承载应用、数据
- 冯·诺依曼主从架构
- 通算，算力密度低，风冷为主



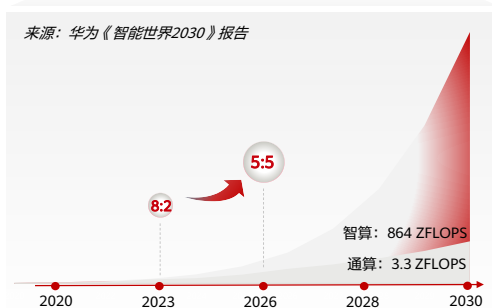
新型智算中心：以xPU（异构处理器）为中心



- 承载AI训练和推理
- 对等架构
- 多样算力，算力密度高，走向风液混合

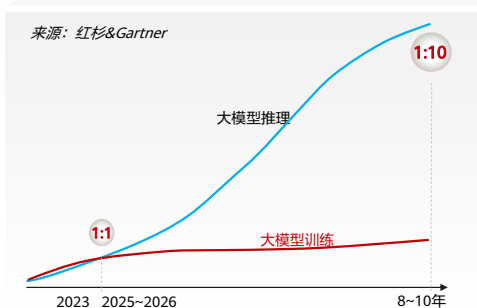
算力结构变化及融合算力演进

通智比从8:2到5:5，以智算为主拉大ICT投资比重



- 通算市场空间每年平稳增长5%~10%，投资需求主要来自政策热点驱动
- 智算快速增长，未来算力占比超50%，投资需求主要来自产业热点驱动

训推比从1:1到1:10，以推理为主，落地到千行万业



- 从训练走向推理，从试点、辅助逐步走向生产、核心业务，实现AI价值飞轮，大模型能力增强加速从训练走向推理
- 从训练，走向训练、后训练、推理，训练向互联网、运营商、头部金融等少数客户集中；推理则走向千行万业

智算中心创新技术应用

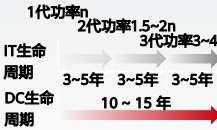
高密

芯片2年一代，未来5年持续向**高算力、高功率密度**演进
不同类型算力功耗差异拉大

2025年主流云DC形成15~30 kW
混合部署形态，多样化算力协同将成主流

弹性

基础设施将具备弹性能力，**1代基础设施匹配2到3代IT功率演进**



高效

数据中心由支撑转向生产系统，向**更短建设周期、更快资源交付、更低的PUE、更高功率密度**等方向演进

建设周期	24月→12月→6月
业务发放	周→天→小时
PUE	2.0→1.5→1.15
功率密度	5 kW→8 kW→ 15 kW→50 kW

零碳

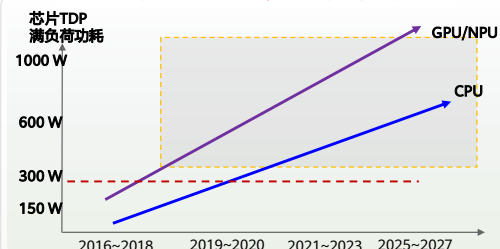
碳中和引发绿色革命，绿电成本持续降低，**“零碳”DC**成为现实

绿电引入：风能、太阳能等绿电将更普遍的应用于数据中心
节电节水：高效节能新技术方案，新建模式，AI手段应用于数据中心
余热回收

高密、弹性、高效、零碳等技术加持，推动数据中心向下一代算力中心演进

芯片功耗增长带来的散热挑战

芯片TDP超300 W (90 W/cm²)，风冷难以散热

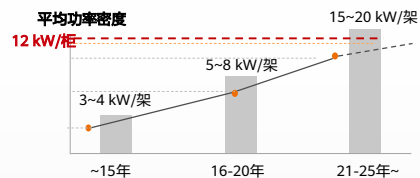


空气 vs 液冷（水）散热效率对比

1 kW的设备、控制设备温升为10度，则空气需要325 m³/h，冷却水为90 L/h

- 散热介质流量相差**3500倍**
- 驱动介质流动的设备功耗相差**7.3倍**
- 管道空间占比相差**20倍**

单机架功率密度12 kW，风冷性价比下降



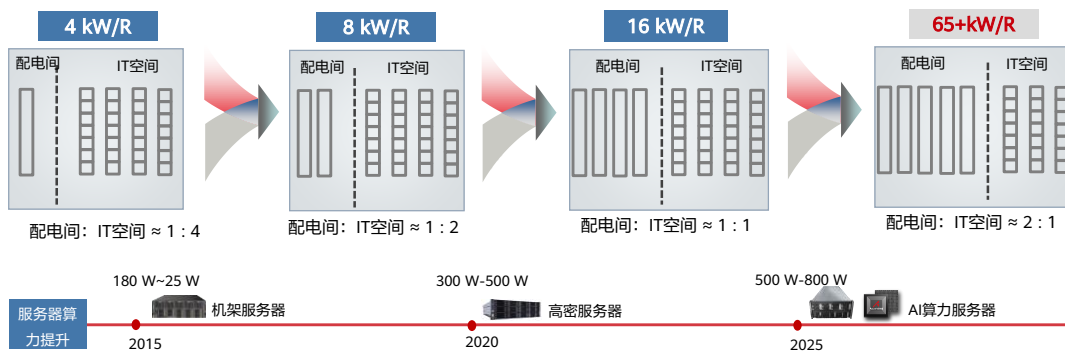
Source: ODCC《数据中心功率密度演进白皮书》和公开资料整理

12~15 kW左右是风冷液冷过渡区

- 2011年2.4 kW，2017年5.6 kW，2020年8.4 kW，预测未来3~5年，15-50 kW/柜成为主流
- 房间级空调方案，受限于物理空间和空气比热容低，难以支持每柜12 kW以上机柜
- 行级空调方案，单机柜超过12 kW时，需冗余配置空调以增加换热面积，影响机房出租率和总拥有成本
- 超过15 kW，风冷换热效率不足，难以支撑高功率元器件散热负荷

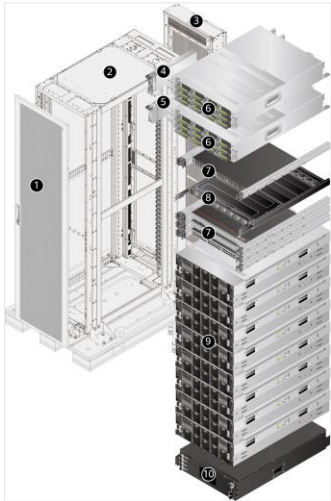
- TDP (Thermal Design Power) 热设计功耗，持续高负载运行时产生的最大热量值，单位为瓦特 (W)。TDP不等于实际功耗，而是散热系统需处理的热量上限。

电力需求增长及配电空间占比



IT功率快速提升，供配电系统空间占比越来越高，导致IT“得房率”越来越低
“高密化”的电力系统成为必须

液冷机柜组件及重量参数

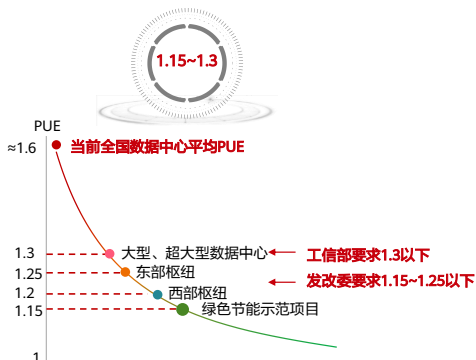


- 1、平板前门
- 2、液冷机柜
- 3、平板液冷门
- 4、RM211管理模块
- 5、电源转接板
- 6、电源框（上面为主电源框，下面为扩展电源框）
- 7、交换机
- 8、理线框
- 9、计算节点
- 10、ECU（Embedded Cooling Unit）嵌入式冷却单元

	风冷通算	液冷智算
机柜	<800 kg	>1000 Kg
地板承重	10 kN/m ²	12 kN/m ²

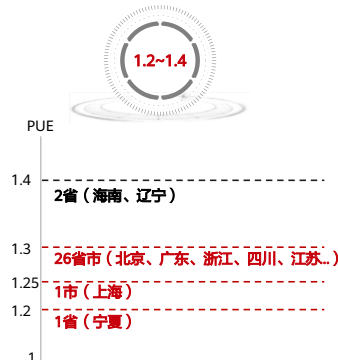
新建机房场景，需要液冷服务器降低机房PUE，以满足政策要求

工信部/发改委PUE指标要求



- 工信部等7部门《关于印发信息通信行业绿色低碳发展行动计划（2022-2025年）的通知》：到2025年，全国新建大型、超大型数据中心电能利用效率（PUE）降到**1.3**以下
- 发改委（一体化大数据中心）：东部枢纽京津冀、粤港澳、长三角、成渝**1.25**以内；西部枢纽内蒙、甘肃、宁夏、贵州**1.2**以内；绿色节能示范项目**1.15**以内

全国30省市PUE指标要求



- 30省市已明确提出数据中心PUE建设要求，其中**28省市要求新建大型及以上数据中心PUE < 1.3**；上海集聚区新建大型数据中心综合PUE降至1.25左右
- 各省按季度跟踪能耗双控进展，数据中心节能减排成为趋势

- PUE（Power Usage Effectiveness）电能利用效率
- 中国工信部划分，超大型数据中心是指规模大于等于10000个标准机架的数据中心；大型数据中心是指规模大于等于3000个标准机架小于10000个标准机架的数据中心。

风冷PUE实际达成难度

风冷设计

设计：平均功率密度5 kW
设计：3000机架

设计：低于17°C自然冷却
自然冷却时间：全年193天

风冷运行

实际运行：功率1~3 kW
上架：2400机架（约80%）

实际：低于10°C自然冷却
自然冷却时间：全年77天

实际负载率 < 30%，为保证安全无法频繁切换工作模式

仅理论计算，多层控制逻辑+上百
个控制参数太复杂

过渡依赖人工经验，依赖原厂技
术支持，缺诊断、调优

设计PUE为1.20，实测PUE为1.40

- 理想和现实的差距，同时IT设备不会满负荷运行，实际的PUE比设计要高；运行PUE > 设计PUE+0.15~0.2

华为云贵安数据中心：基于天成液冷建设绿色低碳数据中心

- 冷板式液冷，把热量直接从芯片上带走
- 高密集约，相对传统机柜可以实现高达8倍的算力密度提升
- 绿色高效，采用等同于纯水的工质利于液冷规模部署，提升计算效率
- 直通风，充分利用自然冷源
- 引入AI能效调优，效率提升5%~8%



华为云贵安数据中心分为液冷机房和风冷机房，液冷机房年均PUE为1.08，风冷机房年均PUE为1.14，其中风冷和液冷的占比为7:3，通过功率平均加权计算PUE为1.12，即 $1.12=1.08*0.3+1.14*0.7$ 。

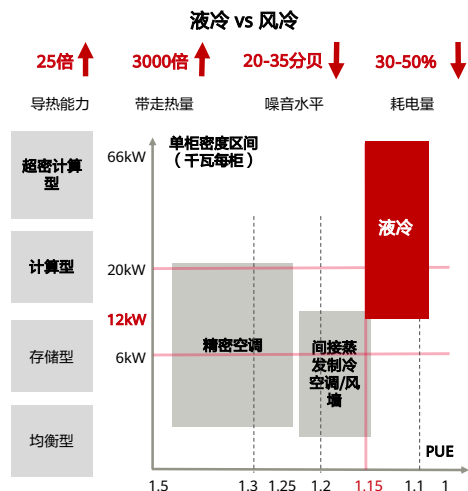
PUE=数据中心总耗电量/IT设备耗电量。

数据中心总耗电量从市电和柴发进线柜进行采集两者之和；

IT设备耗电量表示服务器、网络、存储设备等设备的耗电量之和，当前IT设备耗电量采集列头配电柜的输入。

- 华为云全球总部坐落于贵州贵安，并在此建设了华为云全球规模最大的数据中心。华为云贵安数据中心是华为云业务的重要承载节点，承载了华为云、华为流程IT、终端云等业务，为政企数字化转型和互联网广大客户的不同场景提供多样化服务。
- 数据中心能耗逐年增加，为有效减少能源消耗和温室气体排放，华为云贵安数据中心将绿色和智能技术融入到整体设计中，能效比仅1.12，处于业界领先水平。主要措施有：
- 采用直通风自然冷却，冷风经大楼百叶窗送进机房，热风经热通道从楼顶排出；
- 数据中心设施区和办公区域采用中温冷冻水系统，散发的热量一部分通过瀑布和湖面实现自然冷却，另一个部分通过热回收技术用于游泳池和办公区冬季制热，实现余热回收，减少热损耗；
- 引入液冷技术，提升设备密度降低能效比；
- 运用AI技术进行削峰平谷，使得各服务器负荷均衡，提升资源使用效率比；
- 在供电环节，用功率半导体替换铜器件，进一步降低供电损耗；
- 在满负荷运行的情况下（100万台服务器），该数据中心预计每年可节省电力10.1亿度，减少碳排放81万多吨，相当于年植树3567万棵。（*按照中国南方区域电网的排放因子计算）

液冷与风冷技术能效对比



液冷使能通用算力和高密度算力芯片性能充分释放

- 高端芯片如果用风冷，可能会被降频；

液冷有效降低xPU功耗，液冷大幅降低机房PUE

- 相同功率情况下，液冷和风冷的功耗对比差10-20%，同时也能降低PUE；

液冷可显著提升系统可靠性

- 半导体领域的规律，温度每低10度，失效率降低50%，而液冷比风冷普遍要低5-10度；

液冷比风冷稳定性提升约10X

目录

1. 智算中心基础设施发展趋势与挑战
2. 智算中心液冷技术
 - 液冷技术概述
 - 冷板式液冷配套基础设施
 - 冷板式液冷常见问题
3. 智算中心基础设施需求分析
4. 智算中心基础设施建设方案

液冷技术物理原理（发热与散热）

- 电子设备发热的本质是工作能量转化为热能的过程。芯片作为电子设备的核心部件，基本工作原理是将电信号转化为各种功能信号，实现数据处理、存储和传输等功能。而芯片在完成这些功能的过程中，会产生大量的热量，这是因为电子信号的传输会伴随电子元器件（阻性、容性和感性）等能量损耗，这些损耗会被转化为热能。
- 温度过高会影响电子设备的工作性能，高温会导致设备强制宕机甚至造成电子设备损坏。
- 散热技术伴随单mm²的能量密度增加，需要持续升级来控制芯片的结温。制程工艺的提升，能量密度的增加逐步推高了芯片的功耗。

三种典型液冷方案

1. 根据制冷液体和设备之间的接触方式分为：

✓ **间接接触型液冷：**（冷却液：去离子水）

- 将需要散热的设备固定在一块冷板上，而液体在通过冷板的时候将设备的热量带走，以达到散热的目的，冷板和芯片之间会增加硅脂，辅助散热。

✓ **直接接触型液冷：**（冷却液：氟化液，矿物油等）

- 将服务器等需要散热的设备直接与冷却液接触。依靠液体的循环流动或蒸发带走热量。

2. 按照部署方式分为：**冷板式液冷，喷淋式液冷，浸没式液冷。**

制冷液体和设备之间的接触方式	部署方式
间接接触型液冷	冷板式液冷
直接接触型液冷	喷淋式液冷
	浸没式液冷

三种液冷方式详细对比，冷板式液冷是业界主流

	冷板式液冷	浸没式液冷	喷淋式液冷
成熟度	- 商用案例：技术成熟，业界案例丰富 - 产业链：供应商和产业链相关厂家众多	- 商用案例：有少数商业成功案例 - 产业链：由于技术准入门槛高，产业链相关厂家较少；	- 商用案例：技术缺乏市场检验，业界案例极少； - 产业链：产业链单一
散热能力	- 换热效率：工质水典型热流密度180 W/cm²，较其他介质散热能力高1-2倍 - 单柜制冷能力：单柜制冷量达70 kW，支持多主板散热，支持重算力场景 - PUE：1.10	- 换热效率：氟化液热流密度不到工质水的一半，有局部高温风险 - 单柜制冷能力：单柜制冷量高，支持重算力场景 - PUE：1.04	- 换热效率：热流密度不到工质水的一半，粘稠度高，易附着在芯片表面导致换热效率下降 - 制冷能力：单柜制冷量10-20 kW，不支持多层主板散热，无法支持重算力场景 - PUE：1.08
安全性	- 工质稳定性：水、乙二醇、丙二醇等工质性质稳定 - 工质破坏性：工质本身安全无毒，且与芯片隔绝，无损害芯片风险	工质破坏性：氟化液挥发物存在排氧效应，排风系统故障后，存在环境安全和人员EHS生命安全风险	- 工质稳定性：矿物油、植物油有氧化变质风险 - 工质破坏性：与芯片接触，存在腐蚀/萃取/滴液等损害芯片风险； - 油脂冷媒易挥发影响机房环境，并易发火灾
部署	- 机房改造：部署方式同传统风冷，对机房承重无要求，部署简单；需增加冷塔 - 设备要求：设备兼容性好，主要板件和风冷设备兼容	- 机房改造：对机房承重要求高，普通风冷机房无法满足承重要求 - 设备要求：要求一体化的浸没液冷设备，其他设备难以进行对应改造	- 设备要求：需要对普通服务器二次改造，对重要元器件增加外壳或贴膜覆盖，且需要对外壳进行打孔，改造成本高 - 材质要求：冷媒直接接触元器件，对元器件材质有特殊要求，需冷媒与元器件严格配合测试
维护	- 维护方式：单节点插拔维护，支持CPU和内存独立维护 - 维保界面：维保界面清晰	- 维护方式：液体清理困难，节点维护部件难度高，液体泄露风险高； - 维保界面：维保界面清晰	- 维护方式：板件维护需先用特定中和剂清洗，维护复杂，且存在器件损坏风险； - 维保界面：设备改造后破坏原有架构，失去原厂维保服务，设备故障责任界面模糊

- 结论：成熟的液冷方案需要服务器厂商支持，支持技术演进，产业链成熟可控。一般由服务器厂商主导服务器+液冷整套方案。
- 冷板式液冷已经大规模商用验证并被主流服务器厂商普遍采纳，冷板式成本上也具有一定优势。

冷板式液冷方案的优劣势

成熟度

优势

- **技术成熟**：冷板制作工艺、一体化导管制作工艺和接口焊接工艺成熟；
- **商业应用广泛**：商业案例丰富；

散热能力

优势

- **工质导热性好**：工质水相比其他工质导热性好，比热容比其他工质高1-2倍；
- **单柜制冷量高**：支持单台服务器内的多层主板散热，单柜功率可达70 kw，支持重算力场景；

劣势

- **依赖风冷**：冷板外的非主要发热元器件的散热需要依靠风冷方式，**PUE (1.15) 相对其他液冷方式稍高**；

安全可靠

优势

- **工质安全**：工质水安全无毒，乙二醇低毒，可自然降解；
- **可靠性高**：单冷板内仅两处焊接点，漏液风险低；液体不直接接触元器件，对器件无损害，可靠性高；

部署与维护

优势

- **机房改造简单**：对机房承重无特殊要求，**无需对机房进行重大改造**，可免除冷水机组；
- **材料兼容性好**：部件、主板和连线器材同风冷，兼容性好；
- **维护简单**：对于故障节点支持单节点插拔维护；模块化冷板支持CPU和内存独立维护；

服务器设计需考虑冷板与核心散热部件贴合，冷板制作工艺以及导热管焊接是冷板液冷方案的技术难点，但当前业界的制作工艺已经相当成熟

液冷技术五大创新点



① 高功率xPU芯片冷板散热

- 热流密度 $>100 \text{ W/cm}^2$
- 高密铲齿冷板+塑胶盖板提升换热效率，防止漏热

② IT设备宽温支持

- 节点支持 35°C 稳态运行
- 进水温度高，减少负载制冷功耗

③ 无滴漏快接头、关断阀

- 液冷对接件的快接和盲插
- 三项专利，确保盲插“滴水不漏”
- 漏液自动检测和自动关断，100%漏液拦截

④ 低功率器件液冷门散热

- 热流密度 $<1 \text{ W/cm}^2$
- 纵向窝发生器扰流强化技术+场协同最优协调角度设计，提升20%换热系数

⑤ 嵌入式冷却单元ECU (可选)

- 免二次管路，成本降低
- 部署灵活、简单，现场安装费用低



PUE ≤ 1.15

免冷机，免空调



单服务器功耗降低5%-10%

xPU运行温度低
风扇数量少、转速低



最高66 kW/机柜

液冷支撑高密散热



维护简便

无需吊装，即插即用

- ECU主要用于小规模场景。

液冷方案效益分析

碳排放降低



- 液冷比风冷省电30%+
- 2022年全国电网排放因子0.5703 tCO₂/MWh, 年减少8968吨

机房空间节省



- 天成平台密度高, 是传统机柜的4-8倍
- 液冷机房可免部署空调, 减少冷水机组, 节省L1空间

市电利用率提升



- 相同市电容量下, 液冷峰值PUE更低, IT设备可用功率更高, 结合液冷效率的提升, 液冷比风冷可以部署多30+%的服务器;

电费节省



- 液冷PUE约1.15以下, 节省散热功耗
- 同等算力下, 风冷服务器的风扇功耗较大, 外加光模块功耗, 风冷服务器功耗约是液冷服务器的1.1倍

整机柜交付周期缩短



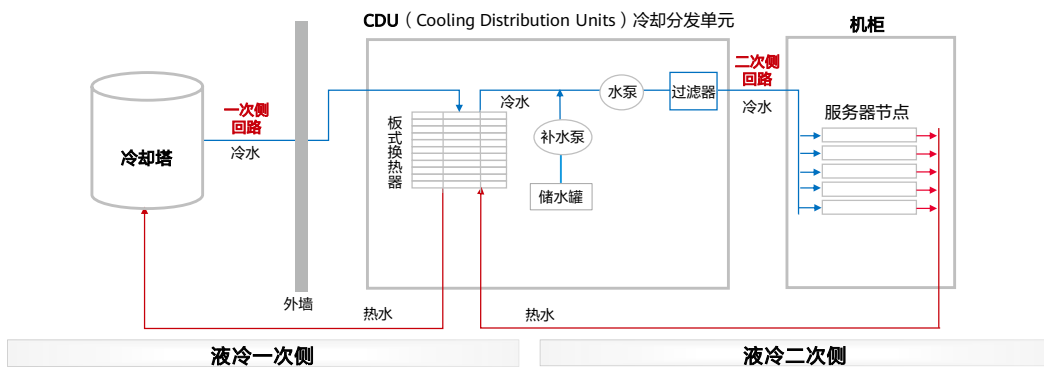
- 天成平台工厂预集成, 整柜运输, 整柜管理, 交换机一键配置, 节省安装时间
- 液冷机柜密度高, 机柜总数少, 建筑成本及配套的门禁、消防、装修等相应减少

•以100个天成液冷柜规模为例

目录

1. 智算中心基础设施发展趋势与挑战
2. 智算中心液冷技术
 - 液冷技术概述
 - 冷板式液冷配套基础设施
 - 冷板式液冷常见问题
3. 智算中心基础设施需求分析
4. 智算中心基础设施建设方案

液冷方案以CDU为界，分为一次侧和二次侧两个循环回路



液冷一次侧

液冷一次侧冷源可采用机械制冷系统和自然冷却系统，一次侧使用软化水，冬季气温低于冰点的地方需要使用乙二醇溶液。

- 机械制冷系统包括风冷冷冻水系统和水冷冷冻水系统，依赖机械制冷，可提供12°C-18°C的中温冷冻水；
- 自然冷却系统是利用室外空气的冷量而不需机械制冷的冷却过程，采用开式冷却塔、闭式冷却塔和干冷器等，可提供30°C以上的冷却水。

液冷二次侧

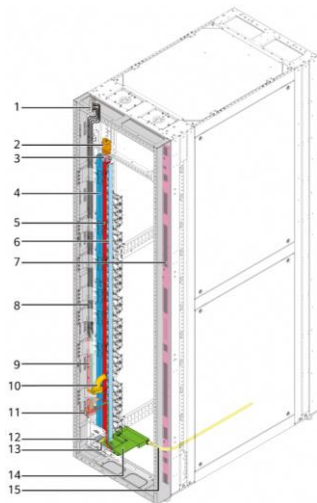
- 二次侧利用内置水泵为液冷IT设备供水，水被加热后回到CDU；
- 在CDU内部通过换热器将热量传递给一次侧的冷却水源后，二次侧变成冷水，依次循环，实现IT设备散热；
- 二次侧15%-25%乙二醇+去离子水，另外会加一些防腐剂。

外置式CDU与嵌入式CDU（ECU）对比

- CDU方案分为外置式CDU和嵌入式CDU两种类型。
- 当前国内采用较多的是外置式CDU方案。

	方案1：外置式CDU	方案2：ECU（嵌入式CDU）
形态	机柜形态，与一个服务器机柜尺寸基本相同	设备形态，宽、深与服务器尺寸基本相同，高度4U左右
部署方式	与服务器机柜并排部署或分开集中式部署，可同时为多个服务器提供制冷能力	部署在服务器机柜底部，只能为所在服务器机柜提供制冷能力
部署复杂性	服务器机房需要进行二次侧管路部署，部署复杂	服务器机房免二次侧管路部署，部署简单
可靠性	通过多个CDU集群式方式提供N+M冗余能力，可靠性高	每个机柜1台ECU，无法实现ECU间冗余能力，可靠性低
空间利用率	CDU需占用机房空间，液冷机柜规模较小时，空间利用率较嵌入式CDU低，规模部署液冷机柜时，空间利用高	ECU不占用机柜安装空间，液冷机柜规模较小时，空间利用率高，规模部署液冷机柜时，空间利用率较外置式CDU低
成本	大规模时成本低	小规模时成本低
适用场景	大型数据中心，液冷大规模部署	中小型数据中心，液冷小规模部署

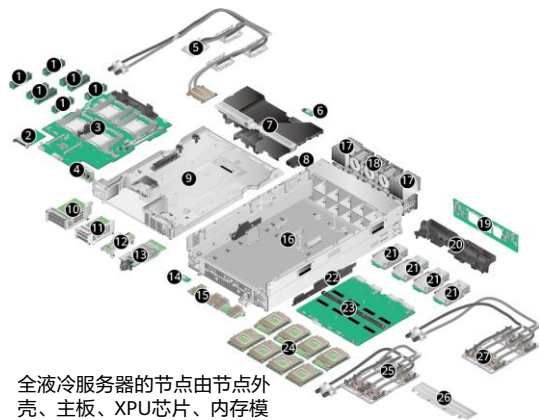
Manifold（分集水器）组件



Manifold是一种特定的管道结构，将二次侧供水分散送入服务器里的散热冷板，并将带有热量的二次侧回水收集输送回CDU。

1	漏液检测板	2	Manifold排气阀
3	Manifold球阀	4	Manifold供水管
5	Manifold回水管	6	导流管
7	Busbar	8	延长线
9	漏液检测绳（又名水浸绳）	10	Manifold回水管接口
11	Manifold供水管接口	12	Manifold供水管液冷调测接头
13	Manifold回水管液冷调测接头	14	接水槽
15	Manifold排水管	-	-

全液冷节点内部结构与组件

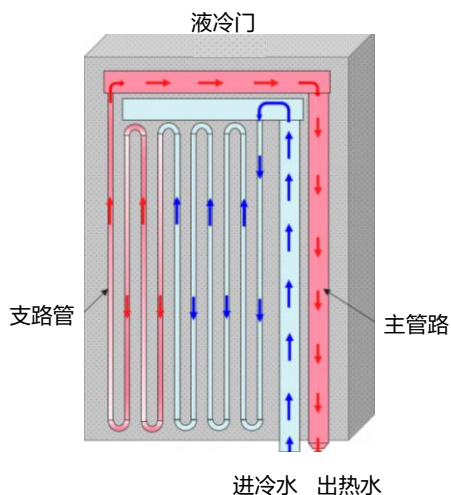


全液冷服务器的节点由节点外壳、主板、XPU芯片、内存模组、内存冷板、XPU冷板，IO冷板，电源及电源后置换热器等组成。

1	DIMM	2	灵活IO卡
3	CPU主板	4	电源转接板
5	CPU液冷散热器	6	CPU漏液检测板
7	导风罩和横梁	8	超级电容
9	机箱中隔板	10	Riser模组1
11	Riser模组2	12	600W风冷电源砖
13	3000W液冷电源砖	14	NPU漏液检测板
15	ETH板（参数面接口卡）	16	机箱
17	硬盘模块	18	风扇模块
19	硬盘背板	20	管道夹
21	3000W风冷电源砖	22	理线架
23	昇腾910NPU载板	24	昇腾910NPU模组
25	NPU液冷散热器1	26	压线架
27	NPU液冷散热器2	-	-

平板液冷门工作原理

- 液冷门负责为低功率器件散热，液冷门内部由铜管和铝散热齿片组成。
 - 服务器吹出的热风会经过液冷门铜管，从液冷门铜管进入的冷水，对吹过铜管的热风进行降温。
 - 此时铜管内的冷水将服务器的热量带走，变成热水从液冷门流出。
 - 服务器吹出的热风经过液冷门铜管降温后会变成冷风，从机柜后侧吹出。
 - 按以上过程循环对机柜进行散热。



目录

1. 智算中心基础设施发展趋势与挑战
- 2. 智算中心液冷技术**
 - 液冷技术概述
 - 冷板式液冷配套基础设施
 - 冷板式液冷常见问题
3. 智算中心基础设施需求分析
4. 智算中心基础设施建设方案

冷板式液冷常见故障类型

故障类型	故障详情	故障因素
超温	液冷散热部件温度过高	温度：二次侧水温过高 流量：二次侧流量不足
泄露	节点内部漏液	冷板周边渗漏，或者软管破损泄漏。一般在接头位置容易泄漏，如快接头、排气阀、二次管路阀门等
凝露	空气中的水蒸气在物体表面降温冷凝成水	凝露与 物体表面温度、环境温度、空气湿度 三个因素有关
工质腐蚀	管路发生腐蚀	工质液pH值失衡、腐蚀性离子侵入、杀菌剂失效会导致金属部件腐蚀

超温故障原因分析与处理

故障描述	可能原因	处理对策
主芯片超温	CDU二次侧供水温度过高 (> 45℃)	1、检查CDU二次侧水温设置 (推荐值: 30℃) 2、如果设置值低, 实际水温高。检查水泵转速、系统流量、一次侧温度、流量等相关数值设置是否正常 3、乙二醇的浓度过高 4、其它未知原因, 联系CDU厂商处理
	冷板与芯片未充分接触	1、检查确认冷板的弹簧螺钉是否打紧 2、检查冷板与芯片之间的导热垫是否压缩异常
	冷板内部流量不足	1、检查冷板波纹管是否被挤压导致水流不畅通 2、检查整柜与二次侧主管路连接的软管是否被挤压 3、检查整柜二次侧球阀是否完全打开
内存等其它部件超温	风液换热器未通水, 流量不足或水温过高, 导致柜内空气不能降温	1、检查液冷门与一次侧连接的球阀是否完全开启 2、检查液冷门与一次侧主管路连接的软管是否被挤压 3、检查一次侧水温设置是否过高 (> 25℃) 4、一次侧的工质是否为水工质 5、检查一次侧管路阀门开启方向是否正确 6、检查一次侧管路压差是否过小 7、检查液冷门是否困气
	系统风扇故障	参考常规风冷设备处理方式
机房环境温度超温	液冷门流量不足 液冷门供液温度过高	同上

漏液故障原因分析与处理

故障描述	可能原因	处理对策
Manifold漏液告警	接水盘积水	1、检查机柜管理模块健康指示灯是否亮红灯，检查Manifold接水盘是否有积水 2、如果有，沿着Manifold排查漏液点。如有需先清楚漏液问题 3、检查废液排液管排液是否顺畅；
	Manifold有漏液喷射	1、如果有朝节点后窗方向的漏液喷射现象，在获取操作权限后紧急关断Manifold二次侧进回水阀门，避免工质进入节点内部导致烧机。进一步处理方式待原厂维护工程师现场指导。
	Manifold有渗漏	1、如无漏液喷射，但有渗漏；根据渗漏率（检查供回压差的波动），如供回压差正常，可联系维护工程师启动更换。如供回压差不正常，渗漏过快，建议设备下电，关闭二次侧供回阀门
服务器节点漏液告警	节点冷板漏液	1、检查节点健康状态指示灯是否闪烁红灯，闪烁频次每秒5次（5 Hz） 2、如果是，紧急对节点进行下电处理，下电后将节点从机柜下架，从机柜滑道上拔出节点时，节点尾部（快接头端）朝下倾斜，避免快接头位置泄漏的工质回流到节点内部，导致污染单板 3、如果否，排查节点尾部导水槽位置、机柜接水盘位置是否有工质泄漏痕迹。如有，参考步骤2；如无，完成业务迁移后可下电该模块，进行进一步开盖检查
液冷门漏液告警	接水盘积水 液冷门有漏液喷射	1、检查机柜管理模块健康指示灯是否闪烁红灯，检查液冷门接水盘是否有积水 2、沿着漏液轨迹判断漏液点。依次检查液冷门上面的排气阀和针阀、下面的卡箍和2个针阀、液冷门朝机柜内的网孔是否有渗漏或喷射；如有，联系原厂技术支持
快接头漏液	节点或Manifold快接头不回弹	1、紧急将拔出的节点插回机柜，对泄漏的Manifold快接头进行封堵，避免进一步的漏液扩散，并观察节点对接位置是否还有泄漏。同时紧急联系原厂技术支持

凝露故障排查与处理

- 冷板、风液换热器容易出现凝露问题，参考“露点温度与环境温度湿度关系表”获得露点温度，例如：环境温度25℃，湿度35%时，露点为8.6℃。在此环境温、湿度条件下，风液换热器或者冷板管路中的水温 < 8.6℃时，会在管路表面形成凝露。

故障描述	可能原因	处理对策
风液换热器凝露	一次侧供水温度过低	1、检查机柜内温湿度传感器的温度、湿度值，查出露点温度。 2、检查机房冷水机组设置，确认风液换热器供水温度是否 > 露点温度，如果不满足，调高一次侧水温到露点以上。 3、如满足，用手持式温湿度仪复核检查温湿度传感器是否故障，如果故障则根据复核的温、湿度值调整对应的一次侧水温，并更换温湿度传感器。
	环境湿度过高	
	环境温度过高	
冷板凝露	二次侧供水温度过低	1、检查机柜内问题冷板附近的温湿度传感器的温度、湿度值，查出露点温度。 2、检查CDU设置，确认冷板二次侧供水温度是否 > 露点温度，如果不满足，调高一次侧水温到露点以上。 3、如满足，用手持式温湿度仪复核检查温湿度传感器是否故障，如果故障则根据复核的温、湿度值调整对应的一次侧水温，并更换温湿度传感器。 4、如发现机柜内部凝露问题，需要对节点进行紧急下电处理；并第一时间联系厂家支持获取进一步的处理意见。
	环境湿度过高	
	环境温度过高	

- 固定温度下，相对湿度越高，露点温度越高；固定湿度下，环境温度越高，露点温度越高。若设备表面温度低于露点温度，则设备表面会产生凝露。

液冷系统水质检查与维护标准

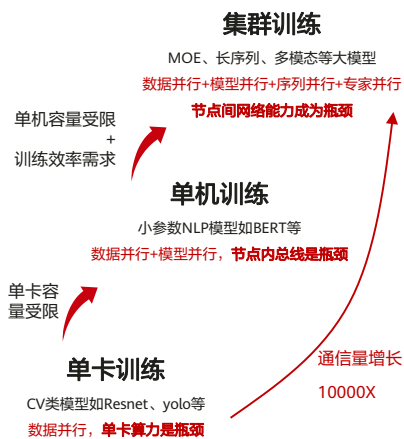
- 一/二次侧的水质检查维护步骤如下：
 - 1、日常取水样，先目测：一次侧软化水一般是清澈的，二次侧乙二醇溶液是粉红色的；二次侧水检测的**浊度、pH、电导率**，需要长期记录；
 - 2、二次侧工质水需要年度送检检测离子浓度，确保离子浓度达标；
 - 3、如果一次侧水是乙二醇溶液，则要用冰点仪测浓度。浓度、浊度、pH、电导率长期记录，有变化了进一步查找原因；
 - 4、如果一次或二次工质的浊度、电导率、颜色有恶化，需要送检第三方检测查找引发变化的源头，确定是否可以继续使用，一次侧采购专业公司治理服务，二次侧协调工质液供应商解决。
- 二次侧的管路检测主要在机房内巡视，范围包括**检查渗漏、阀门标签、螺栓防松标识线**等。
- 一次侧的冷源巡检在机房外面，范围主要包括：CDU、一次侧管路及管件、水泵等。

- 浊度仪（测量颗粒物杂质）
- 冰点仪（测量乙二醇含量）
- 电导率仪（测量金属离子含量）
- pH计（测量酸碱度）

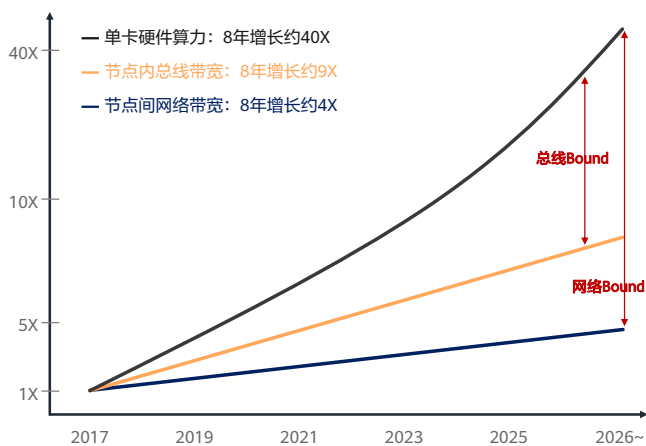
目录

1. 智算中心基础设施发展趋势与挑战
2. 智算中心液冷技术
- 3. 智算中心基础设施需求分析**
4. 智算中心基础设施建设方案

随着AI模型的演进，对于训练系统的需求逐步从计算 -> 总线 -> 网络



总线及网络的能力增长远不及算力，训练系统面临“木桶效应”挑战



Atlas 900 A3 SuperPoD超节点服务器硬件信息



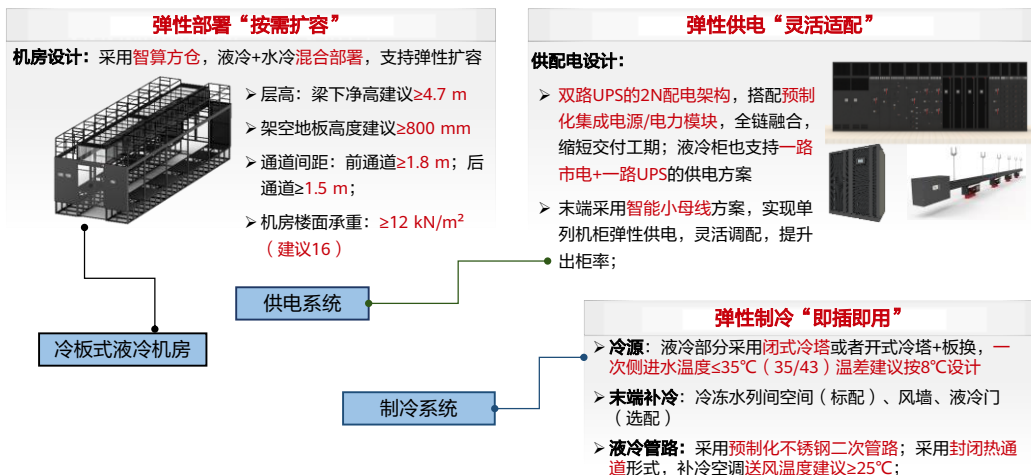
SuperPoD典配优势：

- 1、可靠性：兼容性有保障、施工工艺有保障、界面清晰、系统可靠有保障
- 2、项目交付周期：变更少深化设计时间短、收敛物料交付承诺货期短、最优工序施工周期短、施工团队熟练工艺时间有保障

机柜名称	机柜功率/kW	数量
液冷计算柜	66	12
风冷总线柜	33	4
IT总功率	924	/

- 超节点是通过超高速网络互联（HCCS）技术将跨物理节点的设备连接起来一起协同工作，对外表现为一台具备高算力的超级计算机节点。

液冷服务器部署的机房改造需求



- UPS（Uninterruptible Power Supply）不间断电源

机房工程总体建设要求（1）

序号	项目	规格
1	搬运尺寸要求	1、产品搬运沿途防火门、电梯门、摄像头高度大于2.5米（考虑搬运工具高度，建议带包装搬运大于2.7米）； 2、走道宽度建议大于1.5米，沿途所经过防火门宽度建议大于1.2米； 3、电梯尺寸（H×W×D）≥2455 mm×1080 mm×1560 mm（在包装尺寸上单边增加5 cm）；
2	机房架空地板高度	≥600 mm（净空），要求使用防静电地板，承重满足GB/T36340标准型（B级）以上
3	机房地板承重	≥1150 kg/m ²
4	机柜运输	无门槛&台阶，斜坡<10度，过道铺散力板
5	机柜部署	前通道≥1.5 m，后通道≥1.2 m
6	机房腐蚀性气体污染物要求	对于机房未完全完工，设备提前入场的情况，机房要做好除尘工作，包含机房内和底板下。机房腐蚀性气体污染物要求： 1、符合数据中心清洁标准ISO14664-1 Class8 2、机房无爆炸性、导电性、导磁性及腐蚀性尘埃 3、腐蚀产物厚度最大增长速率： 铜测试片：300 Å/月（满足ANSI/ISA-71.04-2013定义的气体腐蚀等级G1） 银测试片：200 Å/月

机房工程总体建设要求（2）

序号	项目	规格
7	机房地板走管要求	1、需要按照每种液冷机柜的开孔要求进行开孔，具体开孔要求请参考每个机柜的规格书 2、在液冷门开孔位置不允许有地板横梁（以实现液冷门的正常开关） 3、机柜开孔下方600 mm高度需做净空，否则影响走管
8	机房供电	液冷计算柜机房提供母头：4+4 AC 380V 32A，IEC 60309 机柜提供：4+4 AC 380 V 32A，IEC 60309，公头，机柜电源线默认长度2 m，出柜1.5 m
9	机柜接地接口	对外接地：机柜接地螺钉位于机柜顶部，规格M8（前后各有一对），黄绿色线缆，线缆截面积要求 $\geq 10 \text{ mm}^2$
10	水温&水质	冷板：5~40°C，且 $>$ 露点+3°C，乙二醇配方液
11	二次管路过滤器要求	二次侧管路设置过滤器，支持定期清洗及在线维护 过滤器支持堵塞检测功能，堵塞后可以报警 最大通过过滤器的颗粒物粒径 $\leq 50 \text{ }\mu\text{m}$
12	走线架	网络桥架：600*150 mm 2层 强电桥架：200*150 mm 1层（制冷设备供电）

整机柜运输对机房的要求

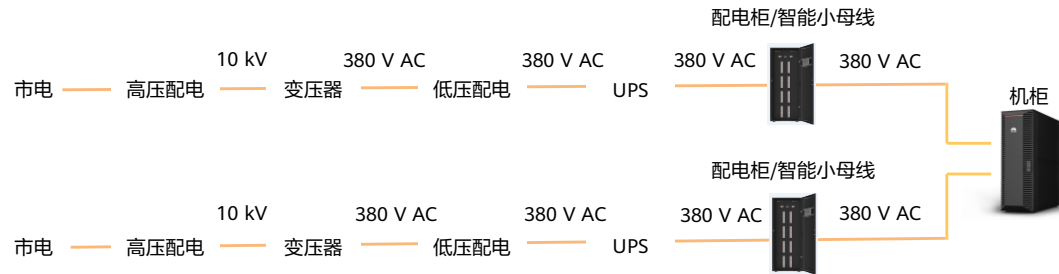
- 整机柜满配置服务器，带包装重量（含包装、栈板、节点）：1600kg，直立运输到机柜位，需要考虑斜坡角度、地板承重、电梯高度、机房运输通道的承重能力等因素，详细参考以下表格：

项目	平台通用/款型专用	检查内容及要求
卸货场环境	平台通用	1、卸货场深度必须满足货车长度+5米，以便满足货车掉头以及尾部正对卸货台卸货。 2、卸货台如有升降平台，请备注可调高度，以判断是否可与货车对接，如不带升降台，则需货车带升降尾板与卸货台对接 3、如果没有卸货台，需直接卸货到地面。货车需自带卸货尾板。 4、Atlas 900 A3 SuperPoD暂不支持吊装。
拆包装场地要求	平台通用	场地平整，横向尺寸大于3.0m，纵深方向大于6.5m
搬运的尺寸、重量、角度要求	款型专用	1、搬运尺寸要求 产品搬运沿途防火门、电梯门、摄像头高度大于2.5米（带包装搬运大于2.7米）。走道宽度建议大于1.5米，沿途所经过防火门宽度建议大于1.2米。 电梯（W×D×H）≥1080mm×1410mm×2455mm（在包装尺寸上单边增加5cm） 2、搬运斜坡角度要求 a：0°~5°，正常搬运，机柜左右各一人辅助 b：5°~10°，需要有防倾倒措施保障（有多人辅助>5人，或者专用工具） c：>10°，不满足搬运要求，需要整改。
搬运路面要求	平台通用	建议机房内沿途路面平整，无台阶
散力板铺设要求	平台通用	产品搬运过程中必须使用散力板，否则有可能导致设备陷落。 1、铺木板或钢板，满足机柜的承重要求。
机房地板要求	平台通用	1、防静电地板。 2、承重满足机柜拆除包装搬运重量，平均载荷大于1150kg/m²，每个脚轮集中载荷大于600kg。 3、机房地板高度要求>600mm

风冷机房改造为液冷机房的要求对比

项目	风冷机房建设要求	液冷机房建设要求	改造项
机房环境	冷冻水空调或风冷DX空调	水冷	新增一体化液冷模块，含冷却塔、水泵及补冷冷机（可选）
物理设施	承重 $\geq 1000 \text{ kg/m}^2$ ，上走线，下走水	承重 $\geq 1000 \text{ kg/m}^2$ ，上走线，下走水	持平
机房高度		架空地板净高 $\geq 600 \text{ mm}$ 机房净高 $> 4350 \text{ mm}$ （含架空地板）	持平
机柜尺寸	2200 mm	600*1200*2250 mm	机柜高度略增或持平
冷热通道宽度		$\geq 1200 \text{ mm}$	持平
排水		机房设置地漏，用于排污和泄露水的排放	不变
机房承重	$\geq 10 \text{ kN/m}^2$	$\geq 10 \text{ kN/m}^2$	持平
可用空间	47 U	47 U	不涉及
机柜功耗	7 kW	20~66 kW	容量4~8柜并1柜
机柜供电	1+1 AC 220 V 32A	1+1 ~4+4 AC 380 V 32A	单柜供电功率提升
UPS供电要求		CDU、冷却塔、冷却水泵、冷冻水泵、补冷板 换控制系统、液冷监控系统推荐采用UPS供电	
部署	服务器与交换机分开部署	支持整机柜交付和分开部署交付	
冷却	风冷空调，冷冻水空调	柜级全液冷	新增一次侧管路至机柜下方，免二次侧管路（ECU方案）
PUE	1.5~2.0	1.10~1.15	不涉及

机房供电架构与可靠性要求



项目	规格
机柜电源制式	AC 380 V
供电架构	2 N
备电架构	2 N UPS
微模块级配电部件	智能小母线或配电柜

机柜配电关键参数与接口要求

走线方式	上走线
机房提供配电模式	两路三相AC 380 V：一路市电一路UPS或两路UPS
机柜支持配电需求	三相交流：N+N: (4+4) *32 A*380 V AC
机柜提供配电端子	AC三相380 V 32 A, 5pin工业端子, IEC 60309交流插头公头, 机柜顶部后端出机柜线长约为1.5 m
机房侧提供配电端子要求	AC三相380 V 32 A, 5pin工业端子, IEC 60309交流插头母头, 空开及插头数量: 空开:N+N: (4+4) *32 A*380 V AC 3P IEC60309插头母头: N+N: (4+4) 备注: 母头能到达机柜顶部, 与机柜自带公头对接, 且位于机柜顶部后侧
机柜接地线接口	对外接地: 机柜接地螺钉位于机柜顶部内/外侧, 规格M8 (前后各有一对), 黄绿色线缆, 线缆截面积要求 $\geq 10 \text{ mm}^2$, 接地电阻 $\leq 0.1 \text{ } \Omega$ 对内接地: 机柜接地螺钉位于机柜顶部内侧, 规格M6 (前2对、后3对), 黄绿色线缆, 线缆截面积要求 $\geq 6 \text{ mm}^2$, 接地电阻 $\leq 0.1 \text{ } \Omega$

液冷集群网络布线要求

项目	关键要求
机柜布局	机柜布局满足光纤长度的要求
光纤长度（超节点接入）	计算节点光模块端口---超节点交换机光模块端口，光纤长度 ≤ 25 m
光纤长度（RoCE参数面接入）	计算节点光模块端口---RoCE参数面交换机光模块端口，光纤长度 ≤ 100 m
液冷计算柜光纤	超节点光纤：224 pcs*400 G $\phi 3.5$ mm光纤 RoCE参数面光纤：32 pcs*400 G $\phi 3.5$ mm光纤

其他网络平面数量需要结合位置单独设计，选择合适的光模块，交换机间最大距离2 km。

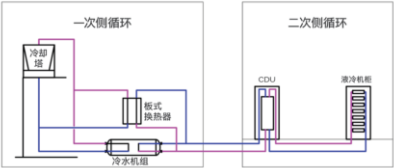
目录

1. 智算中心基础设施发展趋势与挑战
2. 智算中心液冷技术
3. 智算中心基础设施需求分析
- 4. 智算中心基础设施建设方案**

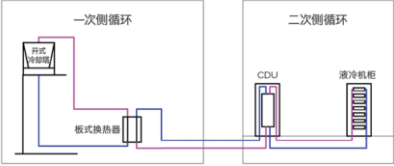
冷板式液冷配套基础设施方案

自然气温高时，需要机械制冷补充		自然气温低，可满足全年直接自然冷却	
水资源充裕	缺水地区	水资源充裕	缺水地区
冷水机组+冷却塔+板换	风冷冷水机组	开式冷却塔+板式换热器	闭式冷却塔

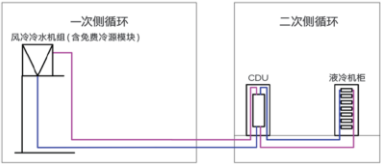
方案一：冷水机组 + 开式冷却塔 + 板式换热器



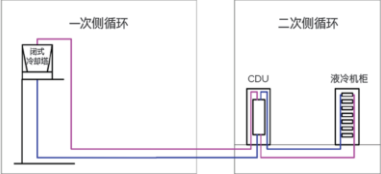
方案三：开式冷却塔 + 板式换热器



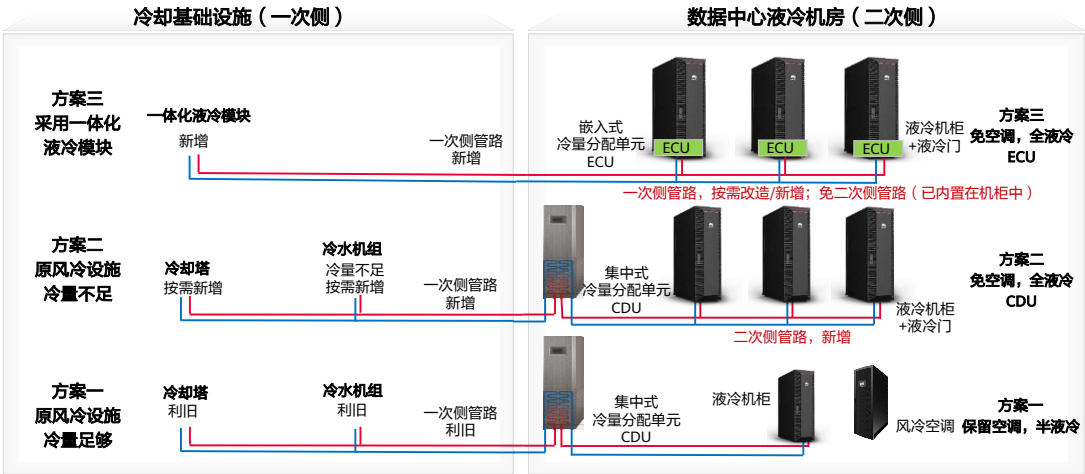
方案二：风冷冷水机组



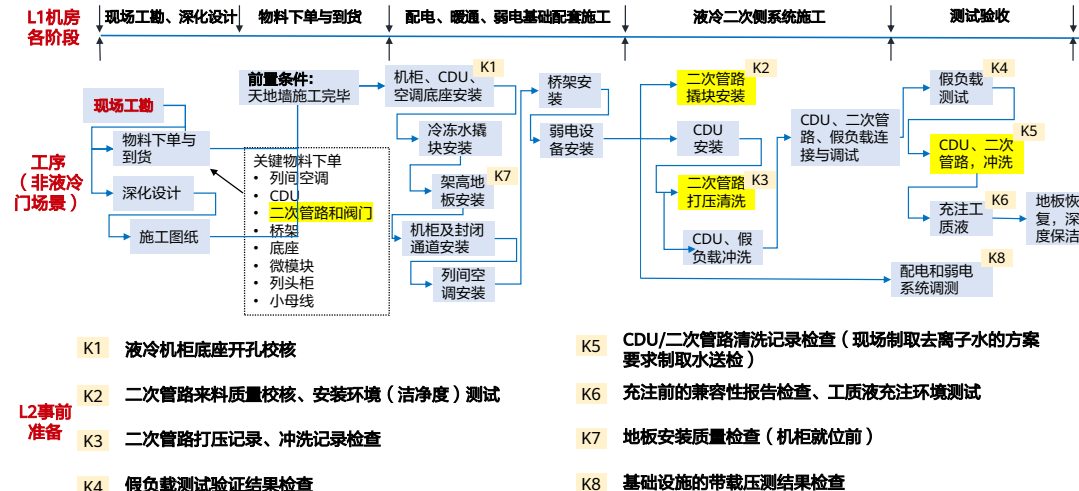
方案四：闭式冷却塔



液冷机房改造部署方案

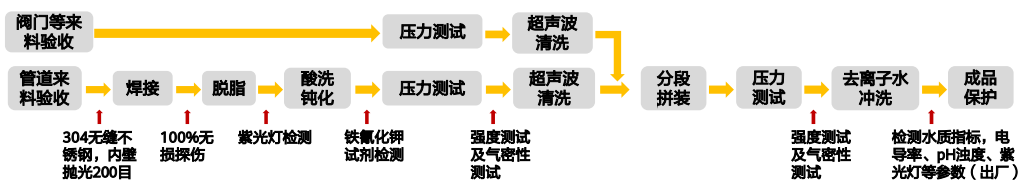


液冷基础设施施工阶段与流程



管道预制工艺与清洗标准

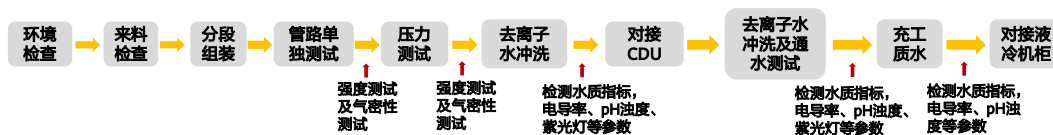
- **管道要求：**304无缝不锈钢管道、内壁抛光200目。
- **管道焊接：**开孔（非烧焊）、坡口、焊接需要焊透并进行无损探伤检测（渗透探伤、超声波等探伤）。
- **酸洗钝化：**后需用高压水枪进行冲洗，清理残留酸洗钝化液，做蓝点测试。
- **管道清洗：**去离子水清洗，达标水质要求pH=6~8（pH波动在0.2以内），电导率<10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ （波动在2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ），浊度 ≤ 10 NTU，过滤器上无可见颗粒物（150目过滤器），紫光灯照射无油污反光（波长365 nm紫光灯照射）。所有支路管口内侧用无尘布擦拭检查无油污、无杂质。
- **管道吹扫与烘干：**经过三级过滤器的气管连接管路，吹干，逐个端头吹气，避免管道内潮湿引起细菌再生或生锈，同时避免管道二次污染。
- **工厂内打压：**强度测试与密封性测试，工厂内建议气压测试，也可选择水压测试。
- **转运过程中成品保护：**防尘、封闭全部管口，确保流转及存储过程中无二次污染。



- 二次侧管道工厂按工序预先施工，送到现场后在现场只进行拼接。

管道现场组装与冲洗工艺

- **环境要求：**施工现场干净整洁，洁净度满足国标GB50174-2017的A级机房标准；底座已经安装完成。
- **组装前检查：**根据图纸，检查到货管道与现场的匹配度，检查阀门的开合度，检查出厂各项检测报告。
- **管路组装：**根据图纸进行管路的组装。
- **管路测试：**进行强度及气密性测试（含管道、阀门、软管，通过外接泵进行打压测试，不接CDU及液冷服务器）。
- **管路冲洗：**去离子水冲洗，水质检测达到液冷服务器的指标要求。去离子水清洗，达标水质要求pH=6~8（pH波动在0.2以内），电导率 $<10\ \mu\text{S}/\text{cm}$ （波动在 $2\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ），浊度 $\leq 10\ \text{NTU}$ ，过滤器上无可见颗粒物（150目过滤器），紫光灯照射无油污反光（波长365 nm紫光灯照射）。所有支路管口内侧用无尘布擦拭检查无油污、无杂质。
- **接CDU：**管路冲洗达标后，进行CDU接管。
- **带CDU冲洗：**利用CDU的自带水泵进行联合冲洗（备注：三方集成测试做完后重新注水进行联合冲洗直到水质达标）。
- **充工质水：**水质送检合格后启动工质液灌注（工质液灌注可利用外置注液泵注入主用，用CDU自带补液泵进行补充）。



管路水压与气压试验标准

- 管路组装成环网后，需在工厂内进行气压检测，在施工现场进行水压检测，二次管路的工作压力按照1MPa执行。

- 水压测试要求：

1、将管路中所有阀门打开，避免有部分管路没参与测试；

2、水压测试（强度试验及严密性试验）：强度试验为1.5倍工作压力（1.5 MPa），稳压15 min，压力下降不得高于0.02 MPa。严密性试验为工作压力（1.0 MPa），稳压4 h，检视整个管路无泄漏。水压过程需逐步升压，确保试压安全。

- 气压测试要求（注意安全）：

1、将管路中阀门打开，避免有部分管路没参与测试；

2、气压测试（气密性试验）：0.6 MPa，稳压4 h，检视整个管路无泄漏；

3、试验前，应用空气进行预实验，试验压力宜为0.2 MPa；

4、试验时，应缓慢升压，当压力升至试验压力50%时，如未发现异状或泄露，继续按试验压力的10%逐级升压，每级稳压3 min，直至试验压力。应在试验压力下稳压10 min，再将压力下降至设计压力，采用发泡剂检验无泄漏为合格。保持不小于60 min。用氢氮气检漏仪的探头对管路每一处接头和焊缝进行检漏，要求单个接头漏气量小于1 g/year（如有不合格需重新紧固或返修，返修后重新检漏）。

一次侧与二次侧工质标准

一次侧工质标准（采暖空调系统水质）

项目	标准
pH值（25℃）	7.5~10
浊度	≤10 NTU
悬浮物	≤10 mg/L，颗粒度不大于500 um
电导率（25℃）	≤2000 uS/cm
Cl离子	≤250 mg/L
总铁离子	≤1.0 mg/L
钙离子（以CaCO ₃ 计）	≤300 mg/L
总碱度（以CaCO ₃ 计）	≤500 mg/L
溶解氧	≤0.1 mg/L
有机磷（以P计）	≤0.5 mg/L
油脂要求	紫光灯照射无油污反光（荧光检测）

一次侧供水温度：5℃~35℃，防凝露要求：≥机房露点+3℃

二次侧工质检测标准

首次灌注3-7天检测

项目	要求
乙二醇浓度（体积比）	15%-25%
外观	清亮透明，无沉淀及悬浮物，有醒目颜色（红色）
pH	8.0-9.0
氯含量（mg/L）	≤25
硫酸根含量（mg/L）	≤50
总铜Cu（mg/L）	≤5
总铁Fe（mg/L）	≤5
总铝Al（mg/L）	≤1
总钙Ca（mg/L）	≤10
总镁Mg（mg/L）	≤10
菌落总数（CFU/mL）	≤100

二次侧供水温度：5℃~40℃，防凝露要求：≥机房露点+3℃

1、不同厂家的工质液禁止混用。

2、运行过程由于蒸散或者微漏导致系统冷却液减少，需补充乙二醇水溶液；当乙二醇浓度超标时，可以补充去离子水。

思考题

1. （单选题）以下哪项最可能导致传统风冷数据中心PUE超标？
- A. 机房地板承重不足
 - B. 高密度IT设备导致空调冗余配置
 - C. 缺乏绿电接入
 - D. 网络延迟过高

- 答案：B

思考题

2. （多选题）以下哪几种情况，可能导致冷板式液冷出现凝露故障？

- A. 环境温度过低
- B. 二次侧供水温度过低
- C. 环境湿度过高
- D. 二次侧供水温度过高

- 答案：BC

本章总结

- 本章围绕智算中心基础设施的四大核心挑战（多样化算力并存、超高密部署、能耗攀升、快速交付需求）展开，明确液冷技术作为高密场景首选方案的必要性。通过冷板式液冷的系统化部署，可有效降低PUE至1.15以下，同时兼顾安全性、维护便捷性与扩展性。未来数据中心将以弹性架构、模块化设计及零碳目标为导向，推动算力基础设施向智能化、高效化方向持续升级。

学习推荐

- 昇腾计算: <https://e.huawei.com/cn/products/computing/ascend>
- Atlas 900 A3 SuperPoD集群: <https://www.hiascend.com/hardware/cluster>

Thank you.

把数字世界带入每个人、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界。

Bring digital to every person, home, and
organization for a fully connected,
intelligent world.

版权所有 © 华为技术有限公司 2026。

保留一切权利。

未经华为事先书面许可，任何人不得对本资料进行复制、修改、
整合、改编、翻译，也不得将本资料或其任何部分或基于本资
料的衍生作品提供、出售、转让、再许可给任何人用于华为
许可以外的任何其他用途。

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2025.

All Rights Reserved.

Without prior written permission of Huawei, no one is
allowed to reproduce, modify, integrate, adapt, translate
this Document, or provide, sell, transfer, sublicense this
Document or any part of this Document or its derivative to
any third party for any other purpose otherwise permitted
by Huawei.



人工智能计算中心计算解决方案与关键技术



前言

- 本章聚焦人工智能计算中心计算设备的解决方案与关键技术，系统梳理了昇腾软硬件、灵衢总线技术以及超节点架构。
- AICC (Artificial Intelligence Computing Center) 人工智能计算中心，以下简称智算中心。智算中心是涵盖基建基础设施、硬件基础设施、软件基础设施的复杂系统工程，提供从底层芯片算力释放到顶层应用使能的人工智能全栈能力，可用于各行业人工智能深度学习模型开发、训练和推理等应用场景。

目标

- 学完本课程后，您将能够：
 - 了解智算中心的计算解决方案技术框架与核心组件；
 - 掌握灵衢总线的工作机制与通信协议；
 - 掌握超节点架构的特征与应用场景；
 - 熟悉昇腾的Atlas硬件系列产品及昇腾软件产品组成。

目录

1. 智算中心全栈解决方案
2. 昇腾硬件产品介绍
3. 灵衢总线技术
4. 超节点架构
5. 昇腾软件产品介绍

华为人工智能计算全栈解决方案概览



目录

1. 智算中心全栈解决方案
- 2. 昇腾硬件产品介绍**
3. 灵衢总线技术
4. 超节点架构
5. 昇腾软件产品介绍

昇腾全系列硬件产品

Atlas 训练 硬件产品

Atlas 900 A3 SuperPoD
液冷超节点384卡灵衢高速互联



服务器

Atlas 800T A2训练服务器
4U高密 超高能效



Atlas 900 A2 PoD
极致算力密度 极高AI能效



Atlas 800T A3训练服务器
10U
超高性能 超大内存



Atlas 推理 硬件产品

加速卡

Atlas 300V视频解析卡
高清解析 高性价比



Atlas 300V Pro视频解析卡
高清解析 超大内存



Atlas 200I A2加速模块
高度集成 超强解析



Atlas 300I Pro推理卡
超高能效



Atlas 300I Duo推理卡
双芯配置 性能翻倍



Atlas 300I A2推理卡
超强算力 高性能标卡



服务器

Atlas 500 Pro智能边缘服务器
2U短机箱 适用短机柜



Atlas 800推理服务器
2U标准 灵活配置



Atlas 800I A2推理服务器
4U8模组高性能推理



Atlas 800I A3推理服务器
10U
超高性能 超大内存



Atlas产品标准化命名规则

Atlas

非服务器类硬件产品分类									
产品形态	硬件产品分类	产品分类			档次标识			规格升级	举例
200	模块	I 推理 Inference	T 训练 Training		— 单模块 Ind 工业级	DK 开发者套件 Lite 智选版	SoC SoC主板 Brd 异构单板 Box 异构子框	A2 ↓ A3 ↓ ... ↓ Ax ↓	Atlas 200I A2 加速模块 Atlas 300V Pro 视频解析卡 Atlas 300I Duo 推理卡 Atlas 500 A2 智能小站 Atlas 900 A2 PoD 集群单元
300	标卡	I 推理 Inference	V 视频 Video	T 训练 Training	Lite 智选版	Pro 高端版	Duo 旗舰版		
500	智能边缘				— 基础版		Pro 高端版		
900	集群	I 推理 Inference	— 训练 Training		— AI集群		PoD AI集群基础单元		
服务器类硬件产品分类									
产品形态	硬件产品分类	产品分类			产品分类			规格升级	举例
800	服务器	3 推理	9 训练	(单数字) 0 0 0 (单数字) (单数字)		— 通用型 K 信创机型	E 短机箱型 D 高密机型	A2 ↓ ... ↓ Ax	Atlas 800T A3 训练服务器

Atlas 200I A2推理加速模块

应用场景

- 嵌入边缘设备，如工控机、智能网关等室内、桌面级部署的边缘AI场景，大型机器人等供电充足应用场景，安防场景边缘后端（非太阳能供电）



Atlas 200I A2加速模块

适配嵌入式多场景，主要面向终端设备集成需求

集成度高，以一当四，不需单配CPU和ISP，硬件性价比更高

Atlas 200I A2

CPU
4核LX900
1.6 GHz

NPU
20/8 TOPS
INT8

编解码
最大40路1080 P@30fps
2路8 K@30fps

图形显示
单核Mali-G52
2路HDMI

Atlas 300推理卡系列概览

Atlas 300I系列



Atlas 300V系列



Atlas 300I Duo推理卡



应用场景

- 集成于服务器，进行AI推理
- 主要用于互联网场景

优势

- 模型性能，Atlas有效算力更高
- 适合视频内容审核场景
- 大模型推理场景，13B参数以下模型性价比高

1 模型性能好

ResNet-50 images/s

2 视频解析强

1080P 30FPS

Atlas 500 Pro边缘推理服务器

支持1~3张卡

Atlas 300I Pro

Atlas 300V Pro

Atlas 300V

“短机柜”
室外电信设备机柜（III、IV）
典型尺寸深度**650mm**

插卡式

*无Riser卡的情况

Atlas 500 Pro智能边缘服务器

关键特性	规格描述
形态	2U服务器，短机箱（86.1 mm x 447 mm x 475 mm）
AI加速卡	最大支持3张Atlas 300I/V Pro推理卡
CPU	1 x 鲲鹏920（单路24核）
内存	4个DDR4内存插槽，最高3200 MT/s

应用场景 大型园区、电力、交通、商超等场景

优势

- 1 稳定算力高
- 2 能效比高
- 3 视频解码能力强
- 4 典型模型性能好

Atlas 800推理服务器（型号3000）

- Atlas 800推理服务器（型号3000）基于华为Kunpeng处理器的数据中心服务器，可支持8个Atlas 300 AI加速卡，提供强大的实时推理能力，广泛应用于AI推理场景中。面向互联网、分布式存储、云计算、大数据、企业业务等领域。



Atlas 800推理服务器（型号3000）



高性能

超强算力：高性能鲲鹏处理器，8*Atlas 300 AI加速卡

大内存容量：8通道内存技术，支持32个DDR4内存插槽

灵活适配

灵活的IO扩展：支持灵活插卡和标准的智能网卡，实现丰富的网络配置

分级存储：支持大容量存储硬盘和ES3000 V5 NVMe SSD

安全可靠

安全、可供应：采用华为全自研计算芯片，整机器件全国产化

可靠与质量保障：减振、散热等高可靠设计

Atlas 800I/T A3超节点服务器介绍



Atlas 800I A3超节点

- 最大提供**215 P**@FP16超强算力（384超节点）
- 提供**35.8/107.5/215 P**等多种不同算力灵活配置
- 单台服务器提供**4.48 P**@FP16超强算力，相比Atlas 800I A2提升**2倍**

Atlas 800T A3超节点

- 最大提供**288 P**@FP16超强算力（384超节点）
- 提供**144/288 P**等多种不同算力灵活配置
- 单台服务器提供**6 P**@FP16超强算力，相比Atlas 800T A2提升**2倍**物理算力，2.7+倍性能提升

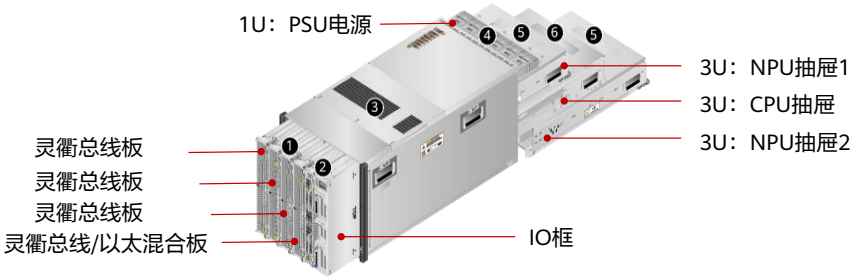
面向互联网、智算中心、金融等行业
提供大模型风冷集群

13 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.



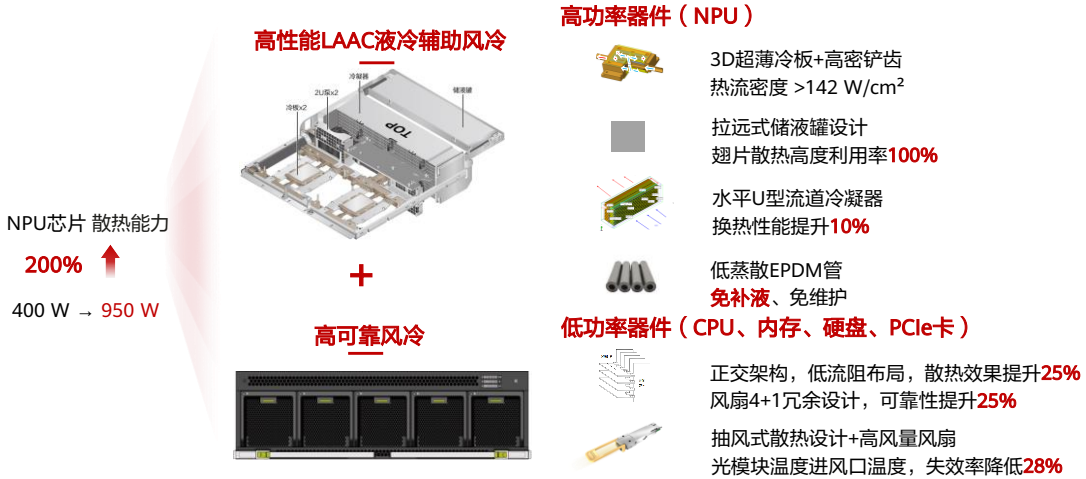
- 超大带宽
 - NPU双向互联带宽784 GB/s，点对点14倍带宽提升
 - 最大规模支持384*NPU超节点，48倍并行域提升
 - 400GE RoCE v2高速接口
- 超高可靠
 - 模块化设计、正交架构，可维护性提升50%
 - 液冷辅助风冷LAAC散热、散热能力提升200%
 - 双电源输入互为备份，供电可靠性提升50%

Atlas 800I/T A3超节点服务器模块化正交架构设计



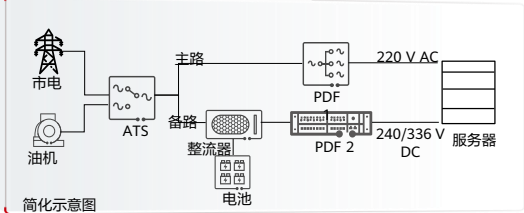
模块化 正交架构 标准化机箱 双输入电源 LAAC散热

Atlas 800I/T A3超节点服务器散热系统



Atlas 800I/T A3超节点服务器供电系统

服务器外供电系统



简化示意图

灵活供电架构

- 双输入电源模块设计，主备双路AC/HVDC混合供电
- 支持2N配电和N配电，提升客户机房适配性

宽范围电源输入

- 高压直流输入180 V DC ~ 400 V DC
- 交流输入90 V AC ~ 264 V AC

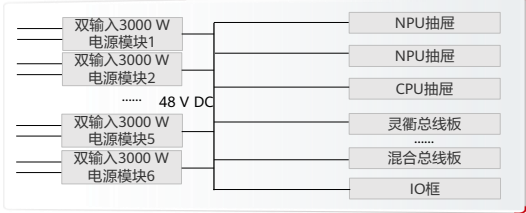
服务器集中供电

- 电源模块5+1冗余配置，最大支持15 kW供电，为AI算力释放提供有效保障机制和高能效转换
- 小型化电源模块设计，功率密度提升



双输入电源模块

服务器内供电系统



高可靠盲插电源背板

- 48 V大电流盲插Busbar，0电源线连接
- 安全电压，防短路设计

电源转换效率达96.5%

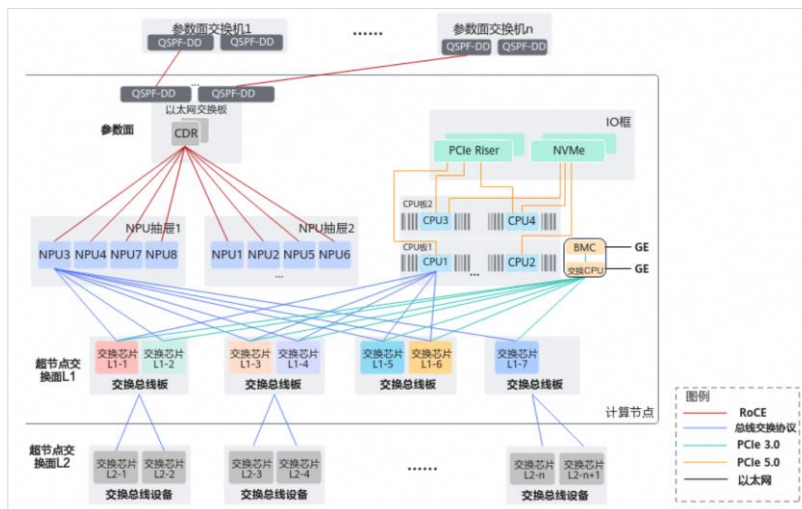
- 满足80 plus钛金电源标准，通过新型磁材料和功率拓扑降低开关损耗和导通损耗

供电安全平稳

- 周期性快速补能，支持NPU负载大动态供电需求，保持服务器供电安全和平稳，提升电源负载率和转换效率
- 支持输出电压异常保护，输出过流保护、短路保护等功能



Atlas 800I/T A3超节点服务器逻辑结构示意图



17 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.



- 集成2块鲲鹏基础板，包含4个鲲鹏920处理器，每个处理器支持16个DDR DIMM。
- 处理器CPU1、CPU3和CPU4通过PCIe总线与PCIe Riser卡相连，不同的PCIe Riser卡支持不同规格的PCIe槽位。
- 最大支持8*2.5寸NVMe+2*2.5寸SATA硬盘，NVMe盘通过PCIe总线与处理器CPU2、CPU3和CPU4相关，SATA硬盘通过Riser搭配RAID卡使用。
- CPU抽屉中集成1块BMC扩展板，内置1颗BMC管理芯片和1颗灵衢总线板管理芯片（交换CPU），外出一个GE网口用于服务器的管理配置。内嵌交换控制芯片对灵衢交换芯片进行管理，外出一个GE网口用于节点网络的管理配置。
- 集成8个昇腾910处理器，多机可组成最大384卡超节点。
 - 每个NPU模组出2*200 G以太网网络，通过线缆连接至L1灵衢总线和以太混合板的参数面网络。
 - 每个NPU模组出2*7*200 G灵衢总线端口，通过线缆连接至L1灵衢总线板的灵衢总线网络。
- 集成4块L1灵衢总线板，其中3块为灵衢总线板，每块包含2个交换芯片；1块为灵衢总线和以太混合板，包含1个交换芯片和4个CDR（Clock and Data Recovery，主要用于扩展信号传输距离，保障信号传输质量）芯片。
 - 交换芯片配置为灵衢总线网络，外接超节点L2总线交换机。
 - CDR芯片配置为RoCE（RDMA over Converged Ethernet）网络，外接L2标准以太交换机。

Atlas 900 A3 SuperPoD超节点液冷训练集群



Atlas 900 A3 SuperPoD超节点

面向智算中心、互联网、云数据中心等行业
提供大模型训练液冷集群

超强性能

- 最大提供**307 P**@FP16超强算力（384超节点），算力密度倍级领先
- 提供**192/384**等多种不同规格超节点配置
- 支持16/32/64/128/256/384卡**虚拟切分**

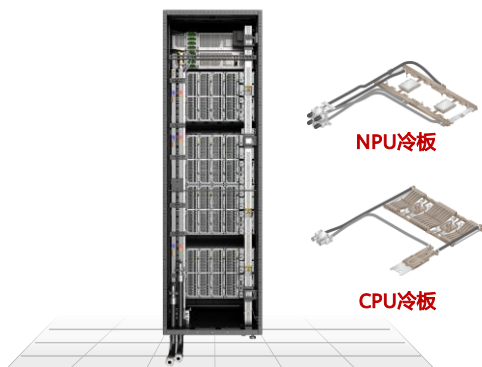
超大带宽

- NPU双向互联带宽**784 GB/s**，**14倍**带宽提升
- 最大规模支持**384***NPU超节点，**48倍**并行域提升
- **400GE** RoCE v2高速接口

超高可靠

- 业界首创供电、液冷**二总线架构**，设备全盲插
- BusBAR铜排集中供电，大通流，低阻抗，**0**电源线
- 机柜工厂预集成，整柜运输管理，支持柜内网口汇聚，简化机房部署

Atlas 900 A3 SuperPoD散热系统



① 高功率xPU芯片冷板散热

- 热流密度 $>142 \text{ W/cm}^2$
- 高密铲齿冷板+塑胶盖板提升换热效率，防止漏热
- 三明治架构设计，NPU散热密度提升50%

② IT设备宽温支持

- 节点支持 35°C 稳态运行
- 进水温度高，减少负载制冷功耗

③ 无滴漏快接头

- 液冷对接件的快接和盲插
- 三项专利，确保盲插“滴水不漏”
- 漏液自动检测、告警、导流，100%漏液拦截

④ 低功率器件风冷散热

- 热流密度 $<1 \text{ W/cm}^2$
- 4+1冗余风扇设计



PUE ≤ 1.15

免冷机，免空调



单服务器功耗降低5%-10%

CPU/NPU运行温度低
风扇数量少、转速低



66 kW/机柜

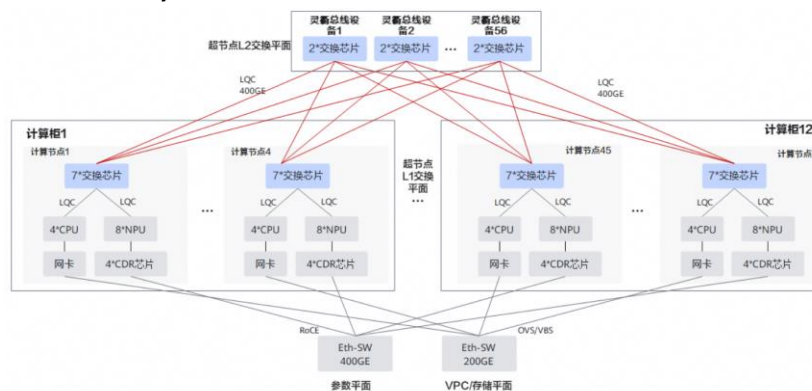
液冷支撑高密散热



维护简便

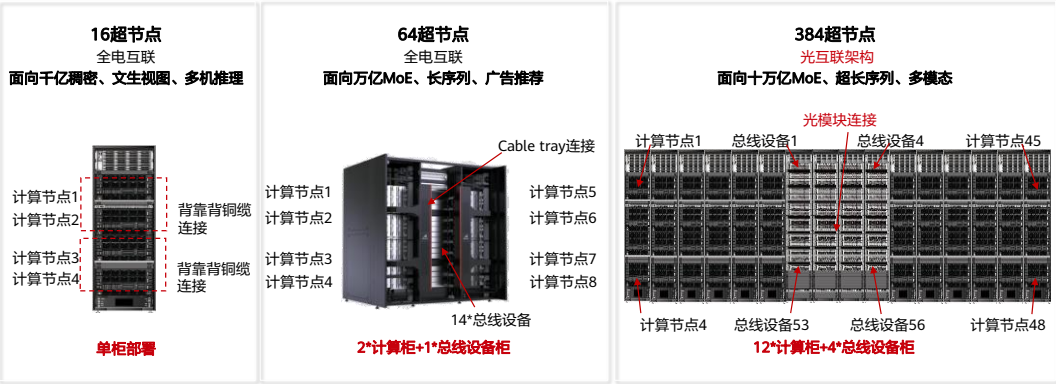
无需吊装，即插即用

Atlas 900 A3 SuperPoD计算柜逻辑组网（384超节点）



- 采用2层胖树组网，含LQC和RoCE两种组网，其中LQC组网有柜内组网和跨柜组网两种组网方式。
- LQC组网：每个计算节点有7个LQC网络，分别是L1-1~L1-7，分属于四块网络交换板。
- RoCE组网：每个计算机框有1个RoCE网络，从混合交换板引出，在任意规模的集群上都是跟外部L2标准交换机互连组成集群大网。

超节点规格配置



灵衢总线设备介绍

总线设备柜

2250 mm

600 mm

电源区

交换区

灵衢总线设备

LingQu 630 V1

模块	LingQu 630 V1
交换容量	19.2T
接口	48*QDD-400 G (2 × 200 G)
最大功率	1200 W
电源模块	220 AC/240 DC、± 48 V输入
Console口	1*RJ45管理串口
管理口	1*RJ45管理网口
散热方式	风冷

高性能

- 可达**56 G**高速Serdes总线
- 交换容量高达**19.2 T**，提供400 GE端口

高密度

- 2U高度19"标准机框，提供**48**个400 G (2*200 G) 端口
- 支持超节点端口**1:1带宽**，无收敛组网

高可靠

- 可热插拔电源，1+1备份，**负载均衡**，保障业务无间断运行
- 可热插拔风扇，3+1备份，**智能调速**，打造绿色低碳
- 灵活散热风道，支持前后/后前风道，冷热风道完全**隔离**，提升散热效率



目录

1. 智算中心全栈解决方案
2. 昇腾硬件产品介绍
- 3. 灵衢总线技术**
4. 超节点架构
5. 昇腾软件产品介绍

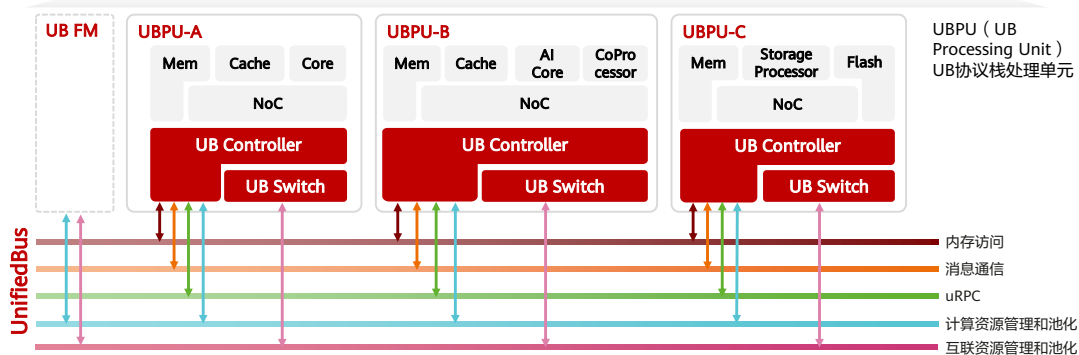
数据中心发展诉求

- 单一类型的计算资源，单一节点的计算能力、存储能力，以及配比固定、松散协同的扩展模式已经难以满足日益复杂且快速变化的应用部署需求。新型应用驱动计算范式从**单算力向混合算力协同**发展，从**单机向集群灵活部署**发展，从**传统应用松散分布向多样应用紧密融合**发展，对未来数据中心架构提出新的诉求：
 - 诉求一：高效组合**异构算力**，提升任务处理速度；
 - 诉求二：支持**大内存访问**，提升数据访问和使用效率；
 - 诉求三：支持**资源动态分配**，提升资源利用效率；
 - 诉求四：提升**端到端通信性能**，使能紧耦合计算架构；
 - 诉求五：归一网络平面，使能多路径传输，提升**物理互连利用效率**；
 - 诉求六：**统一功能调用接口**，提升编程和维护效率；
 - 诉求七：支持**快速异常恢复**，提升系统可靠性和可用性。

灵衢总线系统特征

- 灵衢总线（UnifiedBus，简称UB）是一种可扩展至数据中心规模的计算机总线，打破服务器物理边界，实现以一台计算机的方式完成数据中心的**统一通信、统一资源管理和统一功能调用**。

超节点和集群的底座，收敛为一条计算机总线。



25 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.



- 通过向xPU及IO设备提供全对等架构设计和高性能统一互联协议，提升异构和并行计算效率。
- 通过全域内存语义和统一资源管理，实现大容量内存访问，实现数据中心设备和内存资源的池化和极致共享。
- 通过程序内存地址直接引用和新功能调用接口，统一设备驱动和主机远程功能调用，支持网格（Mesh）工作关系的多方处理架构模式。

灵衢总线工作机制

- 归一的**内存访问和消息通信**:
 - 同步内存访问、异步内存访问以及生产者-消费者模式的消息通信是单个处理器内的基础行为，灵衢总线把这些行为向处理器外扩展，等价于扩大计算节点的范围。
- 归一的**灵衢总线功能标识**:
 - 灵衢总线多方对等架构对等看待每个计算节点、外设节点和内存节点，将其称之为**功能实体**。并为其分配全局统一的标识号，称之为功能实体标识号。**功能实体是灵衢总线通信和资源管理的最基本单元**，在一个物理设备上，可能包含多个功能实体。灵衢总线架构下功能实体标识号与标识物理位置的网络地址分离，实现全局资源池化、资源虚拟化和迁移管理。
- 归一的**内存管理和访问控制**:
 - 灵衢总线统一内存管理单元，在数据访问路径上完成**地址翻译、访问权限控制和资源动态管理**，并支持基于内存空间的数据交换，允许应用程序直接访问总线上的内存，直接控制程序内存空间访问权限。
- 归一的**互联可靠传输**:
 - 无论是服务器内互连还是数据中心规模互连，灵衢总线均是在**物理端口**之间建立可靠总线传输平面，以无连接方式完成通信，支持链路层重传和动态的Lane失效隔离机制，支持Credit流控，向计算事务提供一致的可靠传输服务和互连死锁避免机制。实现计算事务行为与物理互连距离和计算节点规模的解耦，同时又能保持高性能。

- 在灵衢总线上使用直接内存访问，有大量系统收益。比如，访问发生在处理器寄存器、物理内存与另一个物理内存之间，这个过程没有软件参与转换，时延更稳定，更容易实现大带宽；同时，消减了中间软件转换过程，减少了软件漏洞或者恶意软件引入机会，系统更安全。
- 两个典型物理距离下的工作行为举例：
 - 在服务器和机架内，使用基于链路层的可靠物理互连改进主机节点间通信性能，而非传统使用的TCP/IP、InfiniBand通信栈协议，这些传统协议端到端通信成本昂贵且性能指标差；
 - 在通用数据中心网络上，建立处理器内总线死锁避免机制，和资源不足操作重试机制，让直接内存访问扩展到全数据中心。

灵衢总线核心理念

- 总线要以最简捷地方式组织计算单元和内存，包括：跨越物理边界的统一计算总线、支持多方对等的工作方式以及直接使用内存地址访问数据。

在物理总线上完成 计算通信和数据访问

灵衢总线从处理器IO和内存总线出发，扩大总线的工作范围，将计算、数据在总线上组合在一起，发掘计算架构性能。

- 总线对接计算执行单元和内存；
- 总线支持乱序和并发；
- 分离计算事务和互联可靠传输行为；
- 消减不同互连协议引入的不必要的通信过程和开销。

多方对等工作方式

灵衢总线使用多方对等架构将资源组合在一起。

- 计算总线上各资源互不隶属，实现资源池化。
- 数据传输不经过集中控制节点，芯片和芯片之间完成直接通信，多芯片（多方）协同完成一个任务。
- 在公共计算总线上实现计算任务错误抑制、访问权限分区隔离。

以内存访问为核心

在进程空间，直接以操作内存地址的方式访问远端进程内存数据，消除传统通信软件栈开销。包含：

- Load/Store方式：**在本程序空间，使用处理器指令，对内存空间访问。
- 异步DMA方式：**从用户进程空间，异步访问另一个用户进程内存空间。
- 函数调用方式：**使用灵衢总线RPC机制，组合多项基础内存操作，实现分布式节点上的互斥事务操作。

- Load/Store方式：典型场景为服务器和机架内的各类芯片之间通信、访问内存中数据结构以及池化内存。
- 异步DMA方式：典型场景为任意范围互连下的进程间通信。
- DMA（Direct Memory Access）直接内存访问。
- RPC（Remote Procedure Call）远程过程调用。

灵衢总线硬件功能组件

- 灵衢总线硬件功能组件屏蔽不同芯片的电路实现细节，提供稳定统一的驱动操作接口，是对遵从灵衢总线协议栈芯片行为的抽象，其功能、关系和特性如下：
- **灵衢总线功能实体**：提供驱动编程接口，关联软件驱动，扩展系统功能。相对只能支持单主机的PCI设备模型，灵衢总线支持多主机共享设备。
- **总线控制器**：为操作系统提供**总线和设备资源管理入口**。相对既有PCIe基于树拓扑的根复合体，灵衢总线基于多入口的网格式管理拓扑。
- **灵衢总线交换机**：在总线上扩展设备，支持**设备间通信**。相对既有PCIe总线基于物理内存地址的交换，灵衢总线基于网络地址交换，支持设备间虚拟内存地址通信，支持全域主机间通信。
- **灵衢总线资源经纪人**：运行在**硬件上的固件**，采用对等方式跨主机动态管理资源，在总线控制器上热插拔资源。经纪人机制是灵衢总线新增架构概念，灵衢总线通过物理总线经纪人完成设备间资源池化和共享。
- **灵衢总线内存管理组件**：完成DMA访问过程中**内存地址映射和检查**。灵衢内存管理单元支持内存地址翻译和权限控制分离，以及多设备共用内存地址空间。
- **URMA通信组件**：提供支持**URMA通信栈**行为的设备。提供灵衢总线下的高性能**异步DMA**通信功能。

灵衢总线协议栈



UMMU (Unified Memory Management Unit) : 负责全局地址翻译和内存访问权限检查, 实现全局内存共享。

UBFM (UB Fabric Manager) : 支持大规模计算、通信和互联资源管理以及高效资源调用。

功能层: 提供简化的编程接口和高效的协同机制。

事务层: 提供统一的事务操作, 支撑稳定的编程接口。

传输层: 支持带宽聚合、连接共享和端到端可靠传输, 实现大规模可靠扩展。

网络层: 支持大规模组网、动态路由和多路径均衡, 提供最优端到端时延和可用带宽。

链路层: 支持点对点流控和重传, 提供高效传输格式并支持丰富拓扑结构。

物理层: 支持低时延和高速率设计, 最大化利用物理信道裕量, 支持线性直驱光技术。

- URMA (Unified Remote Memory Access) 统一异步内存访问。

通信协议 - 物理层



用户价值

运行速率更快

更加可靠

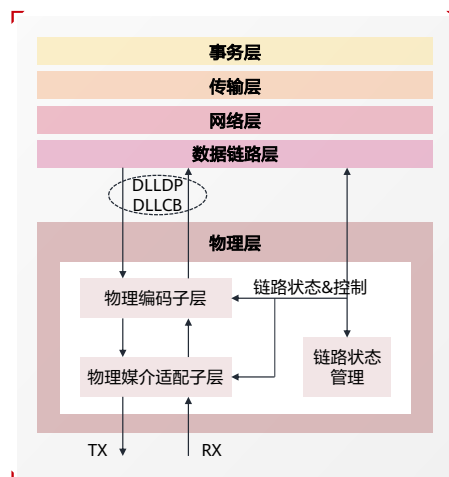
时延更低

功耗更低



部分技术说明

- 提供可变速率机制，最大化利用物理信道裕量
- 提供故障自动检测、自动降Lane或降速，光模块通路保护机制，提升通道可靠性
- 采用极低时延物理层编码和动态FEC编码选择，降低静态时延
- 支持LPO光模块，降低静态时延和功耗



- DLLDP (Data Link Layer Data Packet) 是数据链路层为上层提供点对点传输服务的报文。
- DLLCB (Data Link Layer Control Block) 数据链路层为支持链路管理功能而生成的报文，支持流控、重传等功能

通信协议 - 数据链路层



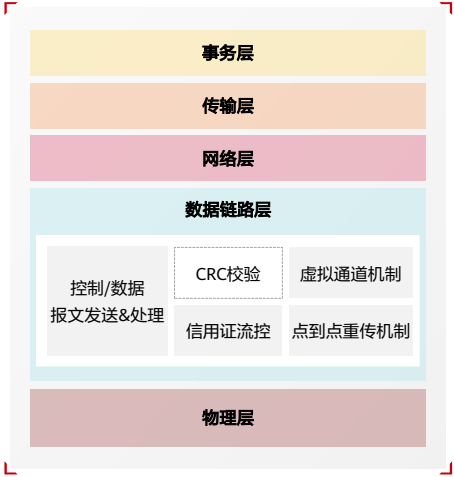
用户价值

高效点到点数据传递	更低时延	更大链路带宽
丰富物理拓扑结构	高效支持总线功能行为	更加可靠



部分技术说明

- 采用Flit结构，更高效传递数据
- 采用多Link方式，提供更大组合带宽
- 通过多虚通道机制，支持丰富拓扑结构
- 通过多虚通道机制，支持多种功能无死锁运行
- 通过有CRC/无CRC配置模式，平衡时延和功耗



通信协议 - 网络层



用户价值

更低时延	更大规模	更强路径选择能力	在规模网络下，更易于部署	更加可靠
------	------	----------	--------------	------



部分技术说明

- 精简地址，降低转发时延
- 支持拥塞达标，降低动态时延
- 支持UDP/IPv4/IPv6格式，更大规模友好部署
- 支持4种路由指示，提升路径选择效率
- 设定Primary CNA机制，便利使用UBPU多物理端口
- 支持自动排除故障路径，提升传输可靠性
- 支持混合互联拓扑



通信协议 - 传输层



用户价值

传输更快

开销更小

时延更稳定

支持总线
上各种事务

支持
大规模扩展



部分技术说明

- 多路径组机制，聚合更大带宽
- 连接共享机制，消减多事务下重复连接开销
- 提供四种模式，因地制宜精简处理开销
- 提供拥塞控制，控制动态时延
- 事务和传输分离，TP层连接独立，支持所有计算语义规模扩展
- 支持高效重传机制，实现数据中心范围内的灵衡部署

传输模式	RTP	CTP	UTP	TP Bypass
对事务层可靠性	提供可靠传输服务	联合下层协议栈提供可靠传输服务	提供不可靠传输服务	/
多路径负载均衡	基于TP Channel	基于Entity	/	/
拥塞控制	基于TP Channel	基于目的Entity和VL	/	/
其他特性	TPG管理，TP Channel共享	/	/	/

- RTP (Reliable Transport)：可靠传输模式，直接提供端到端传输服务，用于可靠性要求高的场景。
- CTP (Compact Transport)：轻量级传输模式，需要联合下层协议栈，为事务层提供可靠传输服务。
- UTP (Unreliable Transport)：不可靠传输模式，一般用于对丢包不敏感的业务。
- TP Bypass：旁路模式，使用该模式，即代表没有传输层特性，也没有传输层的开销，一般配合Load/Store同步访问内存事务使用。

通信协议 - 事务层



- ROI (Reliable and Ordered by Initiator) : 发起端保证可靠有序
- ROT (Reliable and Ordered by Target) : 目标端保证可靠有序
- ROL (Reliable and Ordered by Lower layer) : 下层保证可靠有序
- UNO (Unreliable and Non-Ordering) : 不可靠且无序

通信协议 - 功能层



用户价值

更小时延

更大带宽

更高
并行效率

池化资源时
更小性能劣化

高效协同



部分技术说明

- 同时提供同步Load/Store访问和异步访问，供开发者因地制宜选择使用
- 提供基于用户态内存指针引用的过程调用，提升编程效率
- 提供基于Ownership的内存共享机制，在保证性能的情况下实现内存池化
- 提供多Entity协同机制，便利多UBPU之间进行并行计算

功能层

统一-远程
过程调用

多Entity
协同

Entity管理

UB编程模型

Load/Store
同步访问

URMA
异步访问

灵衢总线内存管理特征



用户价值

使能对超节点
所有内存动态访问

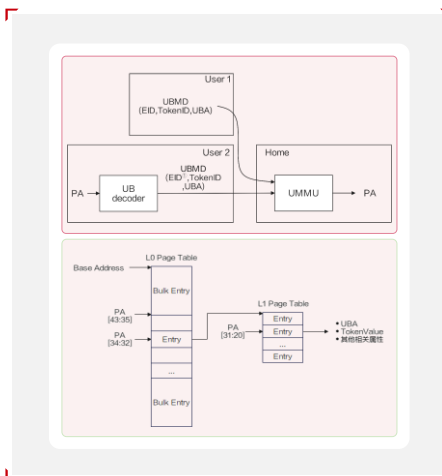
方便多Entity
协同完成一个任务

免入系统态
控制内存访问权限



部分技术说明

- 支持Shared Virtual Memory Address和Page Fault机制，提高动态内存管理效率
- 提供Token机制，方便多Entity实现对相同内存空间访问处理
- 支持用户态程序免入系统态直接管理内存访问权限，使得软件控制通路也免入系统态，从而便利高吞吐的任务处理



资源管理和虚拟化



用户价值

更大规模的
资源管理

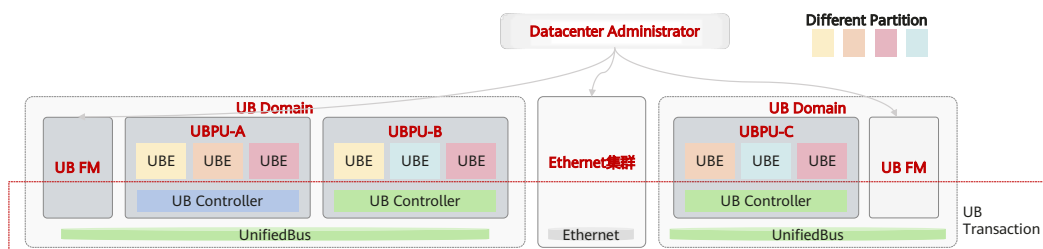
更高效的虚拟化
和多用户机制

更高性能的
调用资源



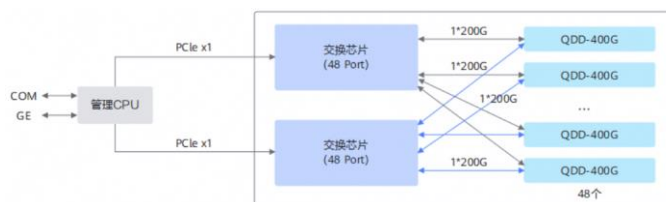
部分技术说明

- 定义新的系统管理权限和消息，在超节点中通过UB带内方式完成资源管理
- 采用Partition分区的方式支持多用户，降低虚拟化开销
- 支持通过MMIO和消息的方式，因地制宜的调用资源



- MMIO (Memory mapping I/O) 内存映射输入输出

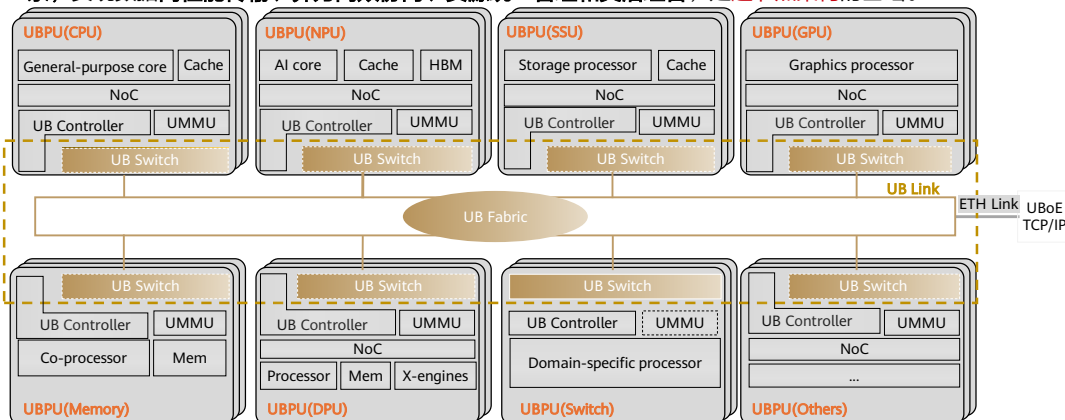
灵衢总线设备逻辑框图



- 两个交换芯片分别出一个200 G到每个端口组成一个400 G QSFP-DD端口。
- LingQu 630 V1支持面板侧进风和出风，支持正装倒装。
- 电源使用标准一次电源模块，支持220 AC/240 DC、 ± 48 V输入。
- LingQu 630 V1最大功耗为1200 W。

灵衢总线部署示意图

- 灵衢总线是一种面向超节点的互联协议，将I/O、内存访问和各类处理单元间的通信**统一在同一互联技术体系**，实现数据**高性能传输**、算力**高效协同**、资源**统一管理**和**灵活组合**，是**超节点架构**的基础。

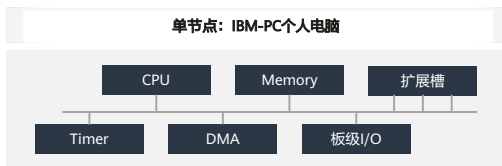


- UBPU**: 支持UB协议栈的**处理单元**，实现特定功能
- UB Controller**: **执行UB协议栈**的组件，并提供**软硬件接口**
- UMMU**: 执行内存**地址翻译**和**访问权限控制**的组件
- UB Switch**: 支持在UB端口间**转发报文**，Switch中必选
- UB Link**: UBPU间的点到点连接
- UB Domain**: 一个全部使用UB Link连接起来的**UBPU集合**
- UB Fabric**: UB Domain内所有UB Switch和UB Link的集合
- UBoE**: 通过**以太承载UB事务**，实现跨UB Domain互通

目录

1. 智算中心全栈解决方案
2. 昇腾硬件产品介绍
3. 灵衢总线技术
- 4. 超节点架构**
5. 昇腾软件产品介绍

单节点架构向超节点演进



经典节点的
逻辑架构

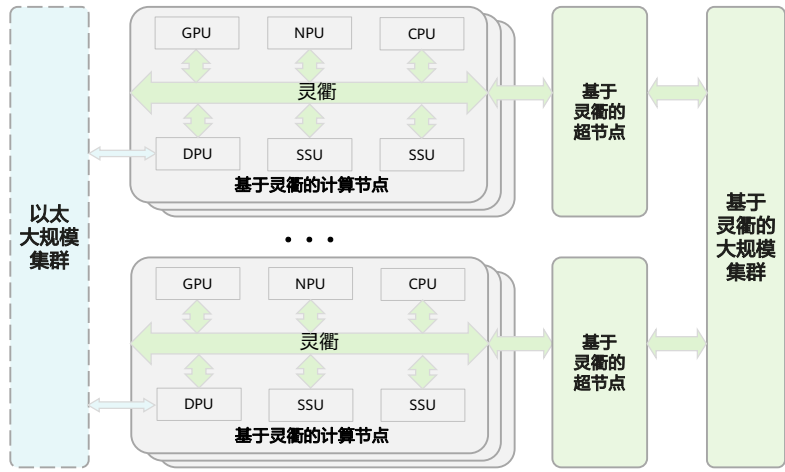
- 具有高带宽低时延总线连接部件;
- 具有基于内存共享的编程模型;
- 非分布式网络的访问管控模型;
- 内存资源由单一OS动态分配和管理;
- 设备资源由单一OS动态管理



超节点
行为
Checklist

- **车同轨**：同质互联底座
- **书同文**：一致编程功能模型
- **七大件**：包含CPU、NPU、GPU、Memory、SSU、DPU、Switch七大件，并有统一资源管理员
- **全池化**：设备、内存、互联、存储资源池化
- **共内存**：支持共享内存方式工作
- **多用户**：支持多任务、多用户工作

基于灵衢的超节点架构



超节点参考架构介绍

- 超节点参考架构（SuperPoD Reference Architecture）是面向AI时代数据中心，基于灵衢的新型计算系统架构，支持CPU、NPU、GPU、MEM、DPU、SSU（Scalable Storage Unit）和Switch中的一种或者多种组件资源池化和平等协同，构建出逻辑上的一台计算机。

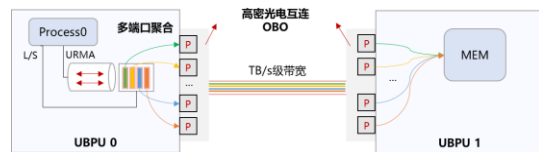


超节点架构特征 - 总线级互联

- 百ns到us级内存语义时延：基于统一编址和访问权限控制的基础机制，UB支持UBPU中的计算单元直接发起同步和异步访存指令，减少控制命令交互，实现百ns~us级低时延。UB内存语义支持64 B至4 KB大小以及变长的单事务操作，降低乱序处理压力，提升传输效率，同时基于链路层的Flit传输机制，实现低时延传输和转发。
- TB/s级大带宽：UB面向AI时代大带宽需求进行了单Lane增强速率和多端口多路径聚合带宽设计。通过物理层多种FEC模式和链路层重传技术，降低BER要求，实现单Lane速率增强至118 Gbps，优于同代际IEEE Ethernet定义的标准速率。
- 通过多端口聚合和高密光电互连技术，实现UBPU间TB/s级带宽互连。UB支持Load/Store语义和URMA语义共享多端口带宽，实现多个端口间的多路径传输。



单端口高速率



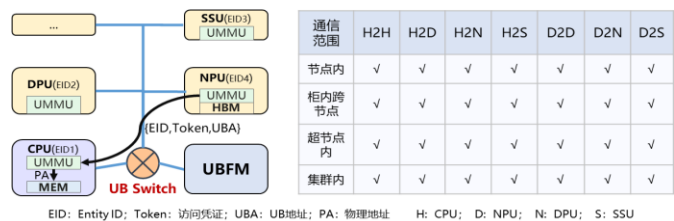
多端口聚合及高密光电互连

超节点架构特征 - 协议归一

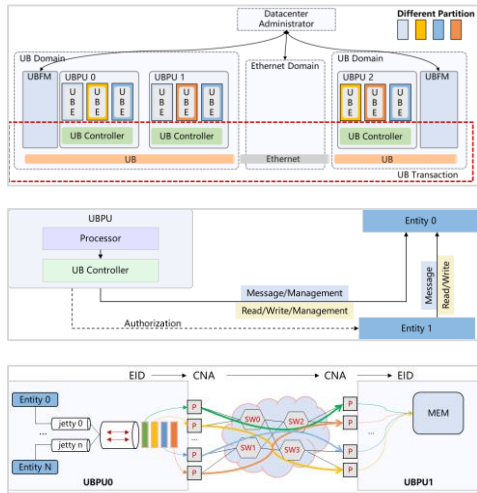
- UB支持内存和寄存器等资源直接映射到全局地址，计算单元通过UB完成全局数据访问和全局同步；支持计算单元指令调度UB Controller，原生匹配计算单元乱序和并发执行的特征。UB从计算硬件系统角度，用户所有的操作归为**内存访问、消息传递、过程调用和资源管理**。UB使用**单一协议栈**支持上述所有操作，避免协议转换开销，为软件开发者提供利用硬件能力的高效编程方式。

超节点架构特征 - 平等协同

- UB支持超节点内所有组件全量平等协同。通过Entity和UMMU实现统一编址和访问权限控制，使能计算资源平等互联访问。每个UB Entity有一个唯一的身份标识EID（Entity ID），是全局通信的唯一标识。构建UMMU，支持内存访问鉴权和地址翻译，设备间访问无需经过CPU。UBFM管理逻辑实体，负责Fabric域内设备EID、网络地址和路由等互连配置管理及设备资源管理。



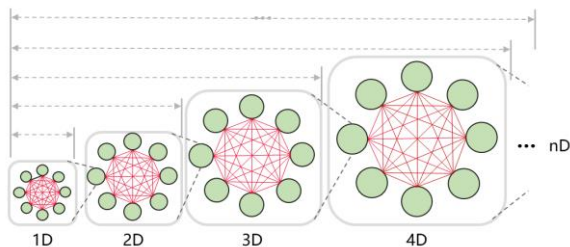
超节点架构特征 - 全量池化



- 统一资源管理:** UB定义新的原生系统管理权限和消息，在超节点中通过UB带内方式完成资源管理；采用UB Partition的方式支持多用户，降低虚拟化开销，通过UBFM将一个UBPU的多个UB Entity注册给不同用户使用，以及将同一个用户的UB Entity加入同一个UB Partition，实现不同用户基于UPI（UB Partition ID）的隔离。
- 资源高效调用:** UB支持将Entity的资源共享给多方，并通过MMIO和消息的方式直接访问和调用，例如UBPU将Entity 0的资源授权给Entity 1，UBPU和Entity 1均可直接通过MMIO或者消息的方式调用Entity 0声明的功能或者服务。
- 互联资源池化:** 除了计算和内存等资源的池化之外，UB通过多通道共享机制，实现TB/s级带宽的互联资源池化共享，所有Entity均可使用所有可达路径和端口。

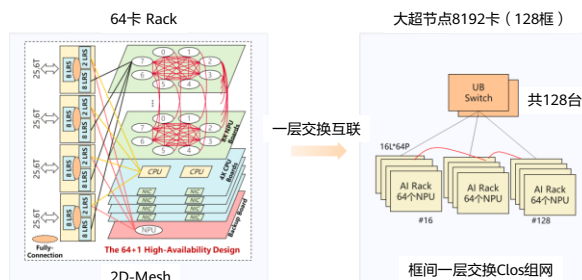
超节点架构特征 - 大规模组网 - nd-FullMesh

- UBPU内嵌UB Switch，支持UB报文通过UBPU直接转发至直连相邻的UBPU，无需软件中转，同时UB通过链路层虚通道、网络层逐包/逐流多路径路由和传输层通道共享等机制，解决UB报文通过直连路径绕路引入的死锁和带宽利用率下降等难题，为超节点提供UB-Mesh以及基于光交换的组网技术，实现大规模低成本部署。
- UB-Mesh中的nD-FullMesh拓扑充分利用了业务数据局部性，优先考虑短程直接互连路径，以最大限度减少数据移动距离并减少交换机使用为目标，是一种兼具高性能和低成本拓扑组网。



超节点架构特征 - 大规模组网 - 2D-FullMesh + Clos混合拓扑

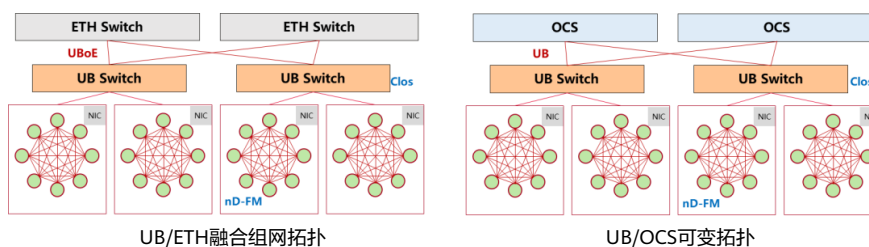
- UB-Mesh还支持混合拓扑，例如在Rack内部采用1D/2D-FullMesh拓扑，提供全电缆互连的本地高带宽，在Rack间采用一层交换的Clos拓扑，提供适当收敛或者无收敛的带宽。该拓扑可用于训练和推理等场景。如下图所示，Rack内采用2D-FullMesh组网，Rack间采用一层UB Switch互连，支持从64卡线性扩展到8192卡。



- 2D-FullMesh是nD-FullMesh在极致低时延场景的应用，减少交换引入的时延开销，可用于内存共享和内存借用等场景。

超节点架构特征 - 大规模组网 - 融合组网和光交换组网

- 为了进一步扩大组网规模，UB除了支持采用多级UB Switch扩展组网之外，还支持通过UBoE与以太网Switch对接，实现融合组网，以及通过OCS组网，实现可变拓扑，匹配业务动态流量。



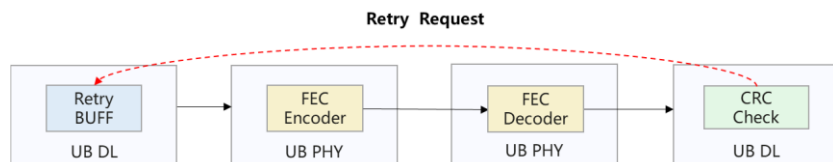
超节点架构特征 - 高可用性 - 分层可靠机制

- 超节点高带宽互连引入数倍的光模块，对系统可靠性带来挑战。UB通过分层可靠协同机制，实现应用无感知的us级故障检错和容错。针对光链路误码闪断场景，通过链路层LLR（Link Layer Retry）技术实现重传；针对单Lane故障场景，通过物理层降Lane和链路层LLR技术协同，实现点对点零丢包；针对单个光模块故障场景，通过2+2光模块备份技术，实现业务无感知的故障恢复；以上技术均可满足内存语义可靠传输。同时UB支持网络多路径切换和可靠传输层，支持端到端的重传。



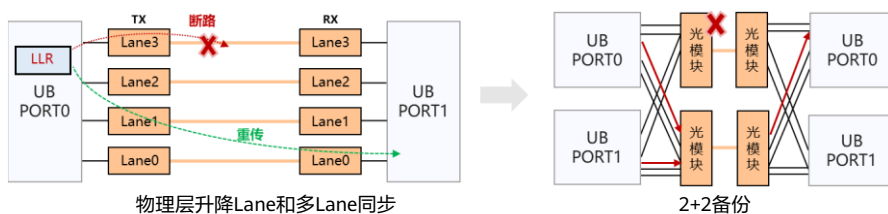
超节点架构特征 - 高可用性 - 链路层重传

- 链路层重传：UB链路层提供了重传Buffer，远端链路层检测到丢包会发送重传请求到源端，触发源端重新发送，该技术可以解决链路闪断和误码等场景丢包问题。



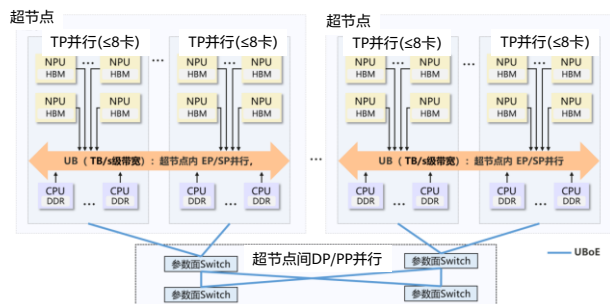
超节点架构特征 - 高可用性 - 光模块备份技术

- 物理升降Lane和光模块备份：UB物理层支持动态升降Lane，协同链路层重传，实现光模块2+2备份技术



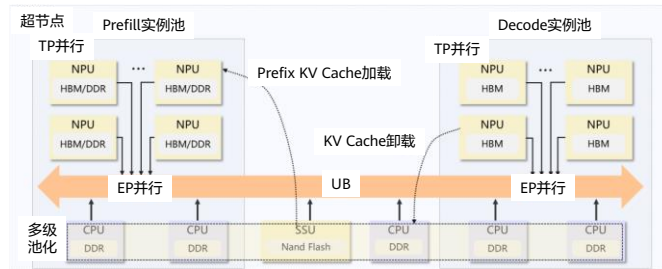
超节点架构场景化应用 - 大模型预训练

- 大模型预训练超节点架构实现NPU-to-NPU的大带宽低时延互联，降低了大模型训练过程中高度并行化部署所带来的通信开销，提升了大模型训练性能。系统在混合专家（MoE）模型、长序列输入等复杂场景下均能取得性能收益。DeepSeek V3为例：在PP8/DP64/EP64典型配置场景下，超节点集群相比传统服务器集群，未被掩盖的通信比例降低80%，在单NPU 2倍裸算力增加的情况下，实现系统最高3倍以上的训练性能提升，充分证明先进架构对大模型训练效率的重要价值。



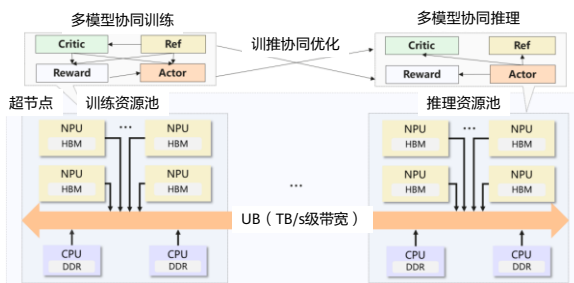
超节点架构场景化应用 - 中心推理

- 中心推理超节点架构一方面利用NPU-to-NPU的大带宽、低时延和高效统一语义能力实现高性能Dispatch和Combine通信，大幅降低多专家通信时延；另一方面基于全局资源池化架构提供多层次KV Cache卸载和加载能力，纵向多层级介质扩容缓存空间，横向NPU-to-NPU直通加速传输，以查代算提升计算吞吐。



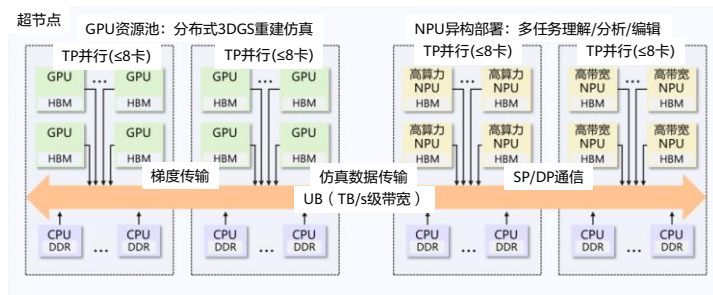
超节点架构场景化应用 - 后训练与强化学习

- 大模型强化学习超节点架构基于NPU-to-NPU的大带宽显著降低了多模型组件之间的参数同步时延，将原本数秒到数十秒级的模型传输时间降低到毫秒到秒级别，使得PPO和GRPO等算法能够更频繁地进行策略更新，提高学习效率和收敛速度。同时，超节点可支持数百卡以上的大规模并行推理和生成，在相同硬件资源下可以处理更大的Batch Size，从而提高样本生成的吞吐量。在大规模对话模型的RLHF训练中，超节点上部署的四模型系统相比传统服务器堆叠集群，训练的收敛速度有倍级提升，也显著提升了推理吞吐量。以70 B参数模型的RLHF训练为例，传统服务器堆叠集群在处理32 K Batch Size的候选生成时，推理时延通常在数十秒级别，而超节点系统可以将这一时延降低到秒级，提升样本生成效率。



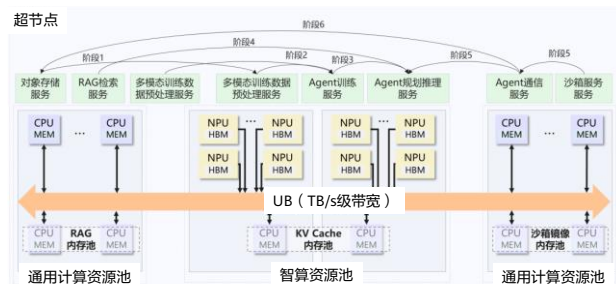
超节点架构场景化应用 - 多模态内容理解与生成

- 多模态理解与生成超节点架构提供突破性解决方案。GPU资源池通过UB将多个GPU组成逻辑统一资源池，提升分布式3DGS重建的生成效率；NPU异构部署通过UB支持不同类型NPU异构组网，提升资源动态调度能力（如动态配比和动态并行策略寻优等）及灵活性；内存语义通信通过UB实现小包超低时延通信，支持多任务推理Token级别分组和Re-order，提升推理效率，并支持3DGS分散高斯球梯度快速同步，提升3D渲染视图生成效率。



超节点架构场景化应用 - Agentic AI

- Agentic AI超节点架构通过多样性算力平等协同计算实现多模态训练数据高吞吐预处理、检索增强生成（RAG）及慢思考推理等高吞吐优化；基于UB全局资源池化无损热迁移，应对Agent中长期记忆带来KV Cache、RAG等异构数据检索指数级增加的挑战；基于UB实现沙箱镜像的毫秒级热频繁加载，实现Agentic AI负载亲和。



超节点特征与场景总结

基于灵衢的智算超节点特征

超高性能：百GB~TB/s高带宽、us级低时延

多样算力：CPU、NPU、SSU的超节点高性能池化

超大规模：支持32~8k XPU的超节点规模

丰富语义：内存统一编址，支持同步+异步访存、URPC

智算场景应用和价值

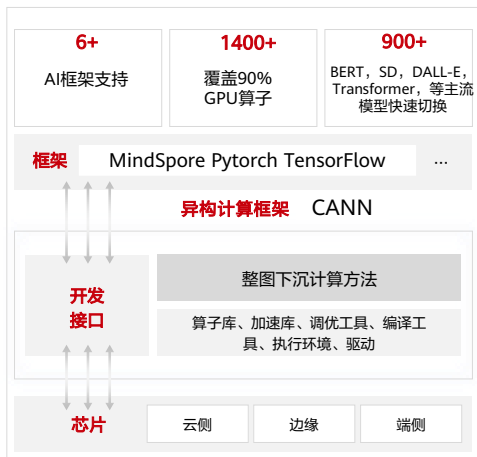
场景	应用	价值
大模型预训练	大并行域、大数据量 TP/SP/EP并行通信性能压力	更优并行超参空间 E2E性能收益20%+
中心推理	大EP并行域、低时延TPOT EP并行通信性能占比20%+	更优EP通信性能 E2E性能收益20%+
后训练与强化学习	训推集群间反复迭代交互 互联带宽和时延成为瓶颈	256+卡训推共卡部署 参数实时更新，20%性能提升
多模态内容理解与生成	高精度与低时延业务诉求，多样算力诉求 Prefix KV Cache容量带宽	CPU/DRAM/SSU池化 低时延场景吞吐提升50%
Agentic AI	多算力、长记忆、多轮次 10X+缓存/异构算力高并发	CPU/NPU/各类介质池化 吞吐性能提升50%+



目录

1. 智算中心全栈解决方案
2. 昇腾硬件产品介绍
3. 灵衢总线技术
4. 超节点架构
- 5. 昇腾软件产品介绍**

异构计算架构CANN概览



开放易用

- 开放开发接口，升级编程语言
- 倍级提升算子自定义开发效率
- 主流算子支持动态Shape

高效算子开发

原生C/C++开发 更简单的计算和内存抽象
更丰富的数据结构 昇腾硬件架构亲和的向量/矩阵类型

自定义算子开发周期：**2周**

并行性能

- 模型并行
- 优化器并行
- 数据并行
- 流水线并行

典型模型性能提升80%

CANN Version	Performance
CANN 3.0	6.25分钟
CANN 5.0	2.69分钟
CANN 8.0	1.26分钟

Ascend C编程语言介绍

应用开发

提供深度学习推理、计算图像预处理、单算子加速计算能力，实现对昇腾硬件计算的调用。

使用场景：

- 开发应用
- 供第三方框架调用
- 供第三方开发lib库

优势：

- 高度抽象
- 向后兼容
- 零感知芯片

模型开发

提供统一网络构图接口，支持多框架，支持用户在昇腾芯片上快速部署神经网络业务。

支持的构图方式：

- 通过算子原型构图
- 通过Parser解析为IR图

算子开发

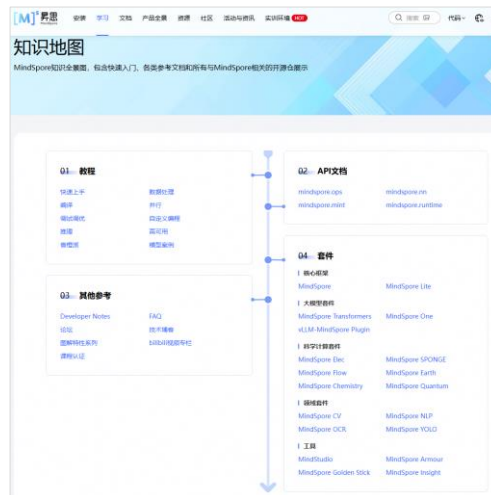
Ascend C是CANN在算子开发场景的编程语言，原生支持C&C++标准规范，最大化匹配用户开发习惯。

关键技术：

- 结构化函数编程
- 自动化流水并行调度
- CPU/NPU孪生调试

MindSpore深度学习框架

- MindSpore是**华为开源**的一款深度学习框架，可满足终端、边缘计算、云全场景需求，支持端、边、云独立或协同的统一训练，作为华为人工智能解决方案的重要组成部分，旨在大幅度降低AI应用开发门槛，能更好保护数据隐私，让人工智能无处不在。
- MindSpore能在按需协同的基础上，通过实现AI算法即代码，使开发态变得更加友好，显著减少模型开发时间。**MindSpore与华为昇腾AI处理器的协同优化**，实现了运行态的高效，大大提高了计算性能。



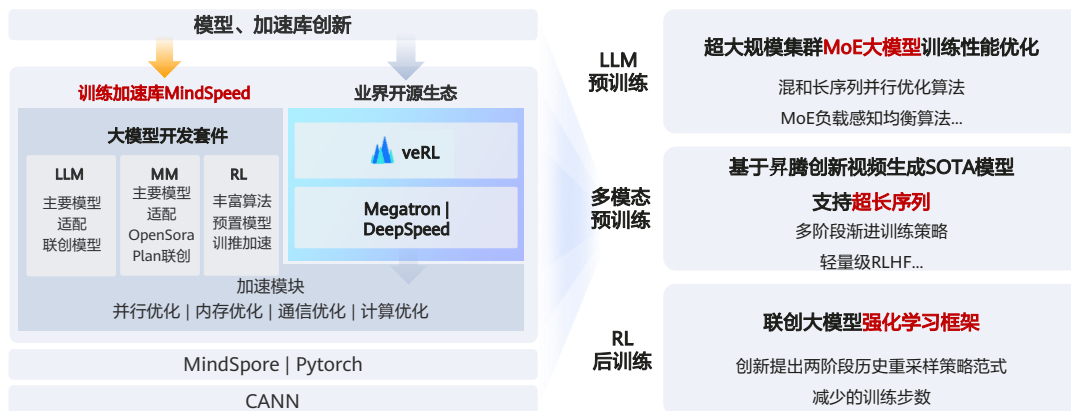
- 昇思官网: <https://www.mindspore.cn/>

MindSpeed训练加速工具

MindSpeed**全面开源**
使能模型加速技术创新开发

适配业界主要开源社区训
推框架，技术共建与共享

从预训练到后训练，支持客户伙伴联创
使能模型及加速技术创新



- MindSpeed是类似于DeepSpeed的集群加速方案。

MindIE大模型推理节点框架

- 昇腾推理引擎MindIE，基于昇腾硬件的运行加速、调试调优、快速迁移部署的高性能深度学习推理框架，分层开放满足各类需求，统一接口使能极简开发，沉淀能力构筑高推理性能。



- MindIE是昇腾优化的加速引擎。

MindStudio开发工具链

算子开发

msDebug 算子调试工具

单步调试 | 源码回溯 |
断点能力 |
内存数据展示

msProf op 算子调优工具

指令流水图 | 计算内存
热力图 |
算子代码性能度量

训练开发

msProbe 精度调试工具

训练数据在线监测
实时记录权重/梯度/
激活值等关键指标

msProf 性能调优工具

多维度解析与性能
数据可视化
覆盖通信/算子/
内存/调度

推理开发

msModelSlim 模型量化工具

INT4/INT8量化 |
KVCache量化 |
稀疏量化

msServiceProfiler 服务化调优工具

服务化调度全流程
程可视化
服务化参数自动
寻优

使能客户自主调试调优 提升用户算子开发效率

Swiglu | GroupMatmul | MatmulSwish
| FA | SwapinScatter | Emblayer2D | ...

训练前中后期调试调优能力覆盖 支持用户集成原子级能力

头部客户集成性能数据profiling能力至自有
运维平台，分钟级定位双机组网慢卡问题

使能模型轻量化部署 帮助客户提升模型及服务化性能

DeepSeek-V3 671B模型使用W4A8混合
量化，模型权重压缩4倍，精度损失<1%

CCAIE系统简介

- 华为提供了以鲲鹏、昇腾为核心的第二算力平面，以AI、HPC集群的方式提供算力服务，这些集群需要端到端的运维解决方案。CCAIE作为集群运维管理软件，为华为AI、HPC集群提供全生命周期管理运维能力。同时在服务器管理场景，提供服务器智能维护软件，端到端地提升集群的运维效率。



	能力定位	能力描述
1	智能故障	覆盖作业前中后的跨层跨域智能故障定位排查、环境检查、作业中的劣化感知及作业故障定位的能力
2	集群数字化	打造集群数字孪生能力，多维集群可视地图，提供全栈报表分析，全栈数据北向支撑客户大屏呈现
3	集群自动化	构筑集群自动化能力，用户业务分钟级开通，提升规模集群升级、变更效率，打造集群运维极优体验
4	智能能效管理引擎	构建一体化集群能耗管理解决方案，实现千卡万卡场景下能耗的控制能力
5	弹性敏捷	匹配不同规模及部署场景，支持扩容，北向对接能力共享

思考题

1. （单选题）以下哪一项属于灵衢总线协议栈的功能层？
- A. Load/Store同步访问
 - B. UMMU统一内存管理单元
 - C. UBFM灵衢互联管理器
 - D. 点到点重传机制

- 答案：A

思考题

2. （多选题）基于灵衢的超节点架构支持以下哪几项资源的池化？

- A. GPU
- B. CPU
- C. 内存
- D. 交换机

- 答案：ABCD

本章总结

- 本章全面覆盖人工智能计算中心的计算解决方案与关键技术，重点阐述了华为昇腾全栈解决方案、灵衢总线技术及超节点架构。昇腾硬件产品包括Atlas系列推理卡、服务器及超节点（如Atlas 800I/T A3、Atlas 900 A3 SuperPoD）。
- 灵衢总线是一种可扩展至数据中心规模的计算机总线，通过统一编址、多方对等架构和内存语义访问，打破服务器物理边界，实现资源池化与高效协同。
- 超节点架构基于灵衢总线，支持CPU、NPU、GPU等组件资源池化与平等协同，适用于大模型预训练、中心推理、强化学习、多模态生成及Agentic AI等场景，显著提升计算性能与资源利用率。

学习推荐

- 灵衢社区: <https://www.unifiedbus.com/zh>
- 昇腾计算: <https://e.huawei.com/cn/products/computing/ascend>
- 昇腾社区: <https://www.hiascend.com/zh>

Thank you.

把数字世界带入每个人、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界。

Bring digital to every person, home, and
organization for a fully connected,
intelligent world.

版权所有 © 华为技术有限公司 2026。

保留一切权利。

未经华为事先书面许可，任何人不得对本资料进行复制、修改、
整合、改编、翻译，也不得将本资料或其任何部分或基于本资
料的衍生作品提供、出售、转让、再许可给任何人用于华为
许可以外的任何其他用途。

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2025.

All Rights Reserved.

Without prior written permission of Huawei, no one is
allowed to reproduce, modify, integrate, adapt, translate
this Document, or provide, sell, transfer, sublicense this
Document or any part of this Document or its derivative to
any third party for any other purpose otherwise permitted
by Huawei.



人工智能计算中心存储与网络解决方案



前言

- 本章围绕人工智能计算中心的存储与网络产品及关键技术展开，介绍华为OceanStor系列存储解决方案及其在AI场景中的AI原生、极致性能、多维扩展等关键技术，同时阐述了星河AI智算网络架构与智能无损网络等关键技术。

目标

- 学完本课程后，您将能够：
 - 熟悉OceanStor A800、A600及Pacific系列等存储产品的特性与应用场景；
 - 掌握存储的AI原生、极致性能、多维扩展等关键技术；
 - 了解星河AI智算网络解决方案的整体架构设计；
 - 熟悉星河AI智算网络的智能无损等关键技术。

目录

1. AI存储产品与解决方案
2. AI存储关键技术
3. 星河AI网络产品与解决方案
4. 星河AI网络关键技术

智算中心AI存储解决方案



OceanStor A系列存储集群



集群利用率提升

- 存储集群百TB/s带宽、亿级IOPS
- 数据加载、断点/故障恢复CKPT加载时长从30 min->10秒
- 万卡集群数据同步一致访问, 99.999%可靠性
- 租赁场景支持多租户数据隔离、QoS等能力

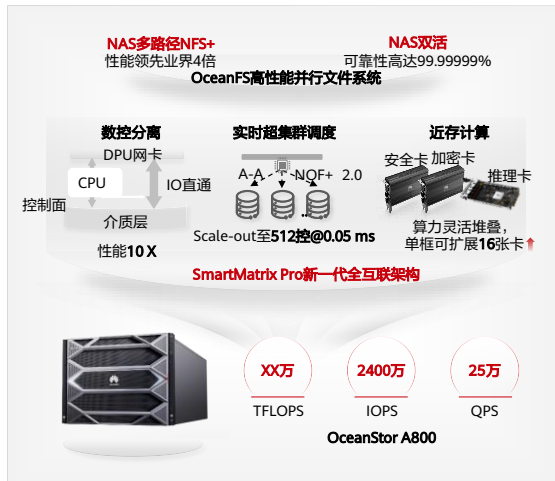
EB容量支持多模态、万亿参数模型

- 全对称512控扩展至数百PB容量, 数据存得下
- 多协议互通, 数据0搬迁
- 一套存储支持AI全流程, 数据全局可视、可管、可用

长记忆存储推理加速

- KV Cache多级缓存, 以查代算, 推理更高效, 响应速度是原来的5倍, 吞吐量提升2倍+
- 大库容RAG向量知识库, 推理更精准, QPS性能领先业界1倍

OceanStor A800产品简介



EB级容量扩展，全分布式能力

存网协同，集群元数据实时感知，**512控** Scale-out 超级集群调度同时保证 **0.05 ms** 极致时延，**EB级** 大容量扩展

14.4万TFLOPS，近存计算

安全、加密、GPU等算力卡灵活堆叠，存储内嵌算力，实现近数据处理
以存强算，单框可扩展16张卡，集群Scale-up **4096张卡**

训练集加载效率提升8倍

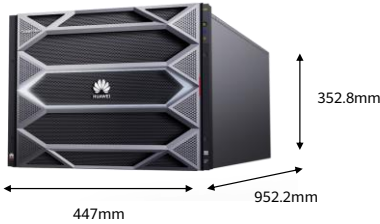
数控分离 + OceanFS，单框2400万IOPS，训练集加载时，GPU无等待，集群可用度提升。**TB级带宽**扩展，断点续训恢复快

超强推理，响应 < 10 ms

向量知识存储、高精度高性能内容语义检索
大模型回答更准确，检索效率提升100%，实现**毫秒级**推理响应

- SmartMatrix Pro：领先的数控分离创新架构，全局统一数据视图和调度数据读写直通到盘，Bypass CPU和内存。

OceanStor A800产品概览

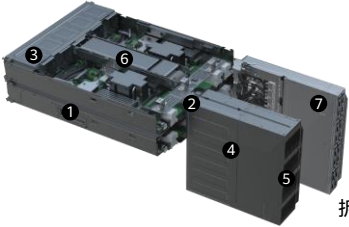


OceanStor A800

	OceanStor A800
机箱形态	专有硬件 8U/双控
CPU/节点	4*Kunpeng 920
节点扩展	512控制器
最大盘数/框	盘控一体64盘
风扇/控制器	10
内存/控制器	1024 GB
网络类型	25/100/200 Gb/s ETH、100/200 Gb/s RoCE、 200 Gb/s IB

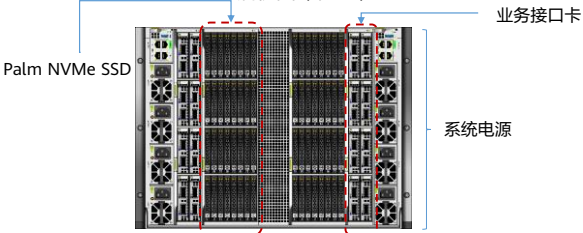
OceanStor A800产品物理形态

前视图（物理）



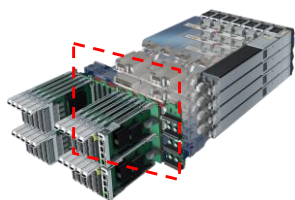
拆解图（物理）

后视图（物理）

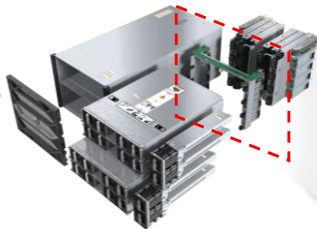


- 1、控制器
- 2、正交架构
- 3、风扇模块
- 4、SSD盘模块
- 5、Palm NVMe SSD盘
- 6、BBU模块
- 7、接口卡模块

正交免背板硬件架构



V6正交背板架构



全新正交免背板架构

FRU部件与插框解耦，支持硬件在线升级换代
对等架构平滑支持未来算力以及网络演进

•**极致散热**：全新正交免背板架构，开孔率大幅提升，4.7 kW的功耗，散热功耗仅占比5%，噪声≤72 dB，COP散热效率全面提升100%。

•**卡件灵活组合**：安全卡、加密DPU卡、推理加速卡、高性能网卡自由组合，支持通过后端BOX模组灵活配置。



- FRU（Field Replaceable Unit）现场可更换单元
- DPU（Data Processing Unit）数据处理器

OceanStor A600产品概览

新一代高性能AI存储，专为AI而生

160 GB/s
每框带宽

3,600,000
每框IOPS

长记忆存储
Unified Cache推理加速

向量知识库
大库容多模向量检索

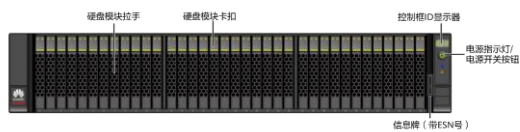


OceanStor A600

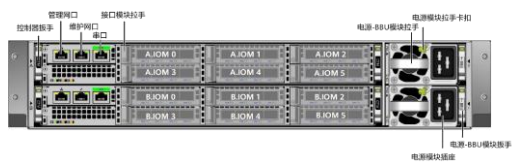
	OceanStor A600
机箱形态	2U/双控
CPU/控	2*Kunpeng 920
控扩展	32控
最大盘数/框	盘控一体36盘
内存/控制器	512 GB
IO模块数量/框	12
网络类型	25/100 Gb/s ETH、25/100 Gb/s RoCE
盘规格	PALM盘：3.84 TB/7.68 TB/15.36 TB/30.72 TB
尺寸	86.1 mm（高）×447 mm（宽）920 mm（深） （不含面罩） 86.1 mm（高）×447 mm（宽）×950 mm（深） （含面罩）

OceanStor A600产品物理形态

前视图（物理）



后视图（物理）



拆解图（物理）



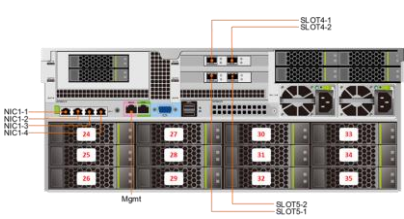
- 1、控制器
- 2、系统插框
- 3、风扇模块
- 4、Palm NVMe SSD
- 5、BBU模块
- 6、接口卡模块

OceanStor Pacific 9550分布式存储产品

前视图（物理）



后视图（物理）



OceanStor Pacific 9550分布式存储产品规格（单节点）	
项目	参数
整机形态	4 U 36盘
节点配置	2颗CPU/节点
数据盘	26块10 TB HDD硬盘（最大支持36块）
系统盘	2*480 GB SSD盘
尺寸（高×宽×深）	175 mm*447 mm*790 mm
工作温度	5°C ~ 35°C
工作湿度	8% RH ~ 90% RH非凝结
电源	220~240 V AC/10 A 240 V DC/10 A

目录

1. AI存储产品与解决方案
- 2. AI存储关键技术**
3. 星河AI网络产品与解决方案
4. 星河AI网络关键技术

AI原生高性能分布式文件存储关键技术

极致性能	多维扩展	AI原生	文件增值服务
------	------	------	--------

500 GB/s
每框带宽

10,000,000
每框IOPS

大集群扩展
单集群Scale-out 512控制器

向量知识库
大库容多模向量检索

SmartQoS
服务质量控制技术



OceanStor A800



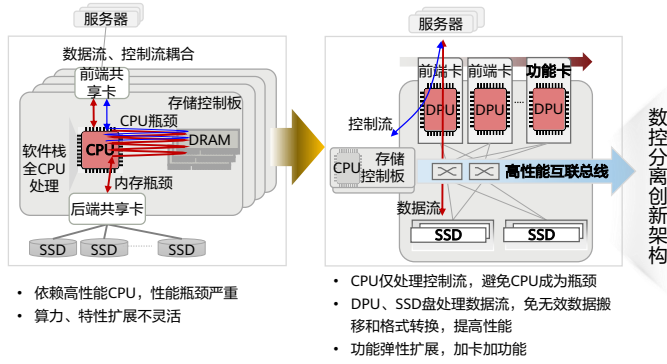
OceanStor A600

数控分离对等架构

软件重定义
数据访问时延**降低**

硬件架构重定义
全局带宽性能**提升**

从**CPU为中心**架构演进为**数控分离对等**多样化算力架构



正交免背板硬件架构

控制器与模组免背板正交，支持硬件在线升级换代，流量交换无阻塞

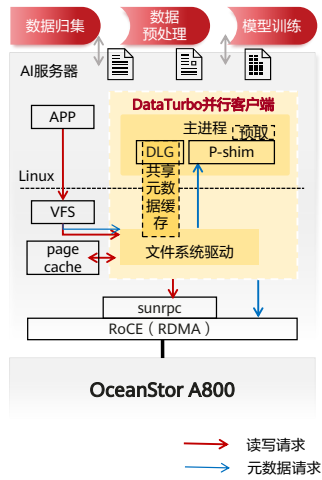
数据直通

DPU卸载通用算力，数据Bypass掉CPU和内存直通到盘，数据访问时延降低

模组化灵活配置

FRU与插框解耦，SSD、算力与网络模组灵活配置，支持加卡加功能，加卡加算力

DataTurbo文件加速技术



关键技术点

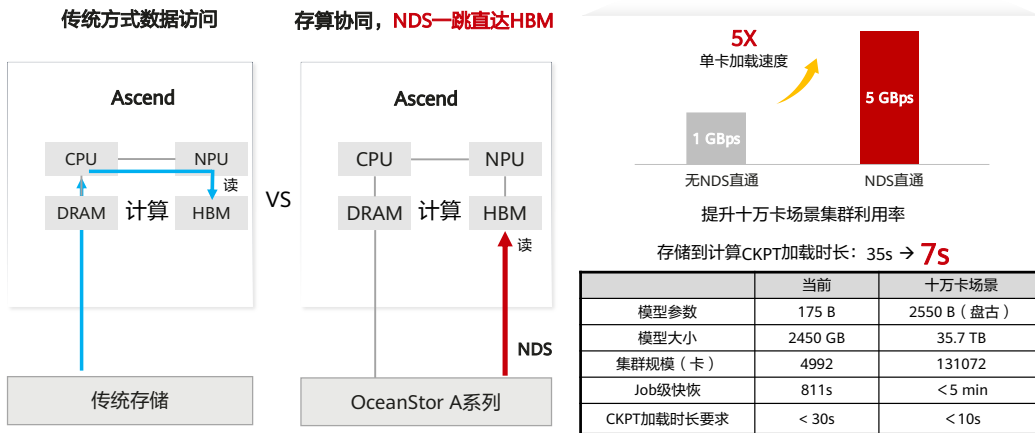
数据内核态直通：数据读写内核态直通存储，动态策略走BIO（Buffer IO）或DIO（Direct IO）路径，进一步缩短IO路径，达成极致性能。

智能缓存：数据缓存使用内核态PageCache，提供高效内存流动，相比传统方案减少50%内存占用。

单客户端性能场景		传统方案	DataTurbo性能值
小文件IOPS	小文件8 KB IOPS读（万IOPS）	31	160
	小文件8 KB IOPS写（万IOPS）	24	75
大文件带宽	大文件1 MB带宽读（GB/s）	30	80
	大文件1 MB带宽写（GB/s）	16	50

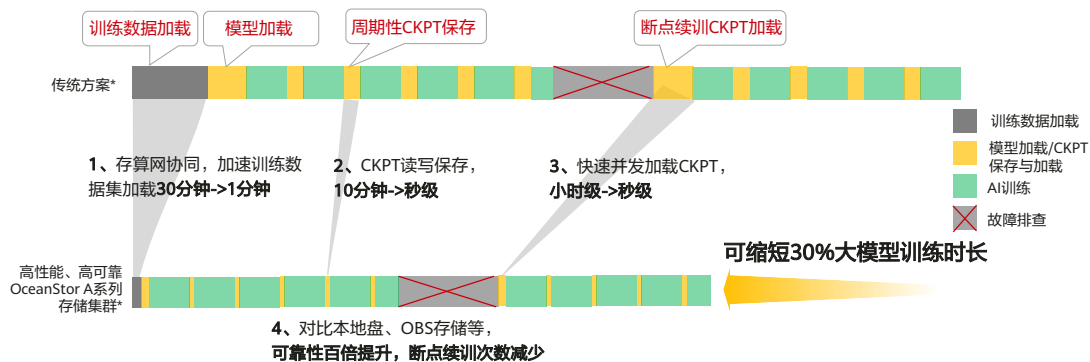
- RDMA（Remote Direct Memory Access）远程直接内存访问
- RoCE（RDMA over Converged Ethernet）基于融合以太网的RDMA协议

NDS存算联动技术



- 读写直通，存储到计算DDR、NPU的高速直通过径，绕过复杂协议栈，消除数据拷贝，CKPT加载时延降低40%，CPU负载减少10%
- NDS (NPU Direct Storage)：NPU直通存储
- HBM (High Bandwidth Memory)：高带宽存储器
- CKPT (Checkpoint)：检查点

合理存储配置，优化训练集加载时间、CKPT读写时间



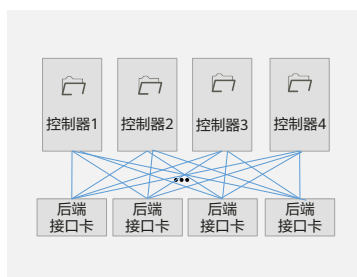
*以上数据为千卡规模下，以一次chatGPT训练过程为例，一次需保存CKPT大小为2.8 TB

提升存储的带宽性能，小投入大回报：缩短大模型上线周期、最大化算力投资效益

(缩短训练周期)

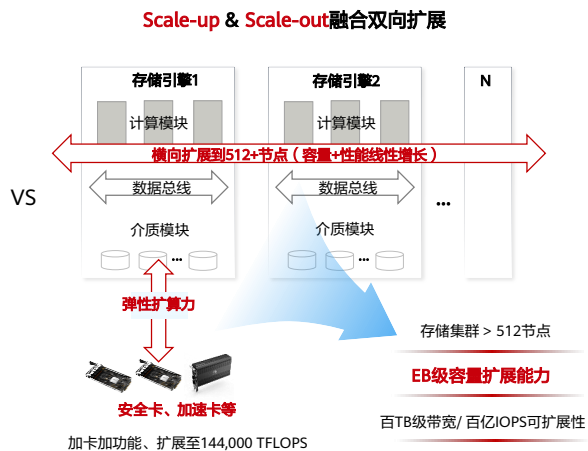
(提升算力的有效利用率)

双向融合弹性扩展能力



传统集群扩展能力有限 (X节点)

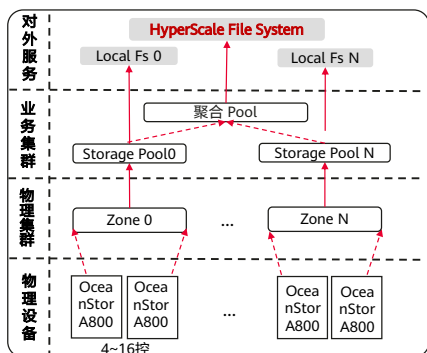
无法应对AI场景超大规模集群性能和存储容量需求



- Scale-up技术：在线扩容盘、卡等，提升在网运行存储系统的容量和访问接入物理主机数量和网络连接规格等处理能力。
- Scale-out技术：在线扩展控制框，实现性能随着控制器数量增加而近线性提升、包括：性能提升，容量提升、主机连接规格提升。

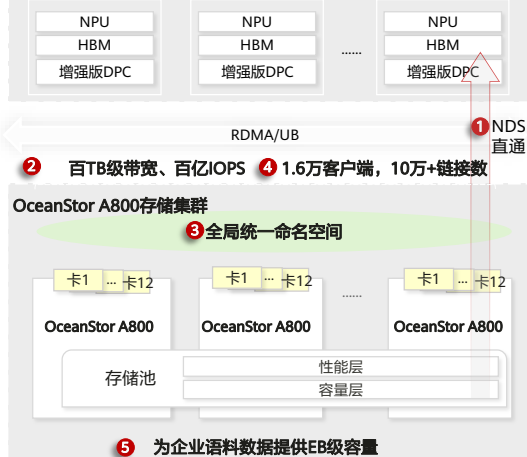
大集群设计

全局文件系统增强实现Scale out灵活扩展



Zone做物理隔离域，Storage Pool承载全局业务的资源，提供大集群文件系统服务。

128k昇腾卡集群



全局统一命名空间

场景一：CKPT同步保存和加载



大规模集群难以保证节点间CKPT同步保存和加载，GPU/NPU间数据不一致需回滚等待

场景二：AI训练开发调试



AI开发人员在代码、数据更改时，需要在节点间手动同步才能启动调试，影响调试效率

VS

万卡GPU/NPU大集群

GPU GPU GPU GPU



AI数据湖解决方案

- 跨地域、跨DC、跨设备数据统一访问入口
- 上层应用不需要关心数据布局
- 万卡GPU/NPU集群提供数据强一致性访问

节点间CKPT同步读写 减少算力等待

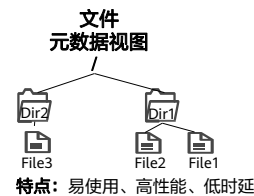
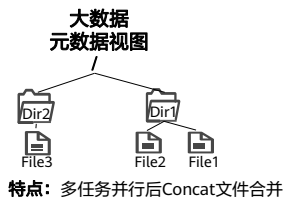
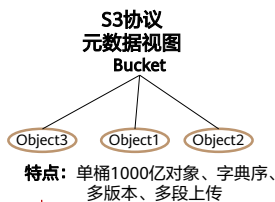
数千/数万规模的GPU/NPU能够以同步方式保存和加载CKPT数据，避免因不同步而造成算力资源等待。

交互式开发调试 加快AI迭代开发周期

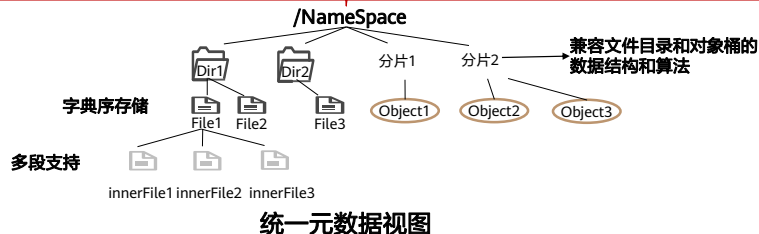
数据更改即时对所有节点生效，AI工程师轻松对数万卡GPU/NPU作业进行交互式调试，缩短开发周期抢占市场先机。

多协议融合互通特性

原生语义特点



OceanStor Pacific/A系列存储语义特点



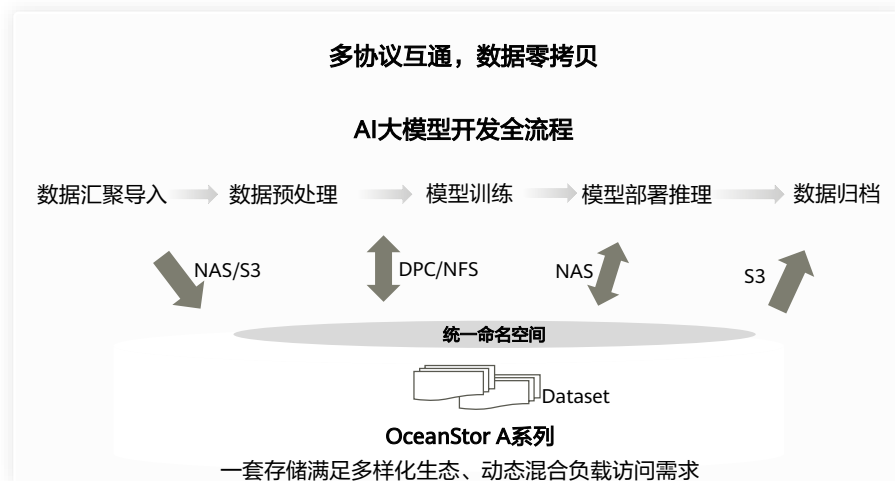
统一元数据视图

兼顾多种协议优点：

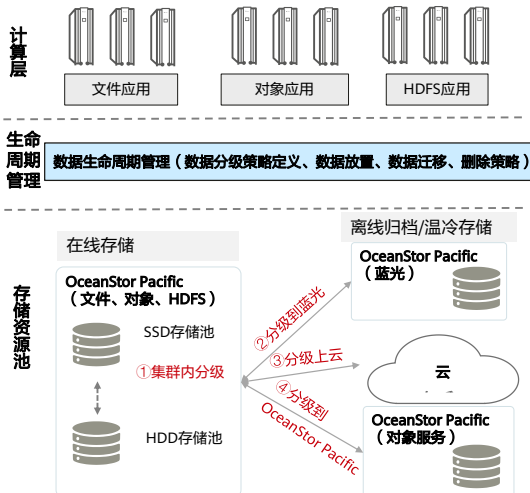
同时支持目录结构（高性能、低时延）、S3字典序、S3多段上传、单桶1000亿对象、Concat文件合并

- 大模型训练场景，全流程是需要专业存储参与的，当前大部分客户现有的存储设备是无法满足要求的，包括多协议数据的统一接入（文本、图片、音频和视频；以及来自不同团队不同来源的数据统一归集）、海量小文件的快速读取到调度平台（TB级别的数据加载要好几个小时）、训练过程中的checkpoint以及重新拉起对带宽的要求（一个数GB的checkpoint拉起来需要40分钟以上），包括在应用阶段，客户侧的私域数据如何和原生的L0层模型互通等问题。
- 原始数据上，NLP模型类不大，但CV类模型规模大，对存储的需求是很高的。另科学计算类模型，数据规模也比较大。
- OceanStor Pacific分布式存储、A系列AI存储多协议互通技术实现全流程协同，数据零拷贝；动态混合负载高性能加速AI全流程，降低整体TCO；性能层&容量层配合，同兼顾高性能和大容量诉求，实现高性价比。

多协议融合互通场景



SmartTier分级存储特性



全生命周期数据自由流动

- 支持文件、对象、HDFS（Hadoop分布式文件系统）三种服务
- 支持数据在集群内热温冷存储池间分级，分级到蓝光，分级上云，分级到另一套OceanStor Pacific（通过S3协议）

灵活的迁移和取回策略

- 支持周期性迁移，一次性迁移，周期性删除，一次性删除策略
- 支持热冷数据间双向迁移，集群间分级支持一次性取回和直读
- 分级启动时间可配置
- 支持基于硬盘池容量水位、文件名、时间戳、大小、UID/GID，时间等维度设置迁移规则
- 支持智能分级，根据访问频率、操作时间、文件大小自动识别文件热度和迁移数据

省空间，省带宽，降TCO

- 集群间分级支持分级前压缩降低数据传输量和归档成本（无需压缩license）
- 集群间分级支持小文件聚合提升迁移速度

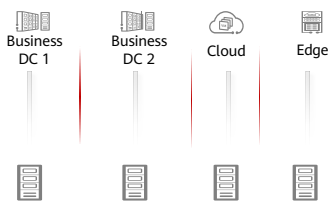
Omni-Dataverse数据编织技术

传统方式

孤岛式

数据跨域流动、归集慢

百TB级需
10天

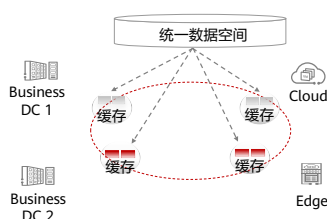


Omni-Dataverse数据编织

全局视图

全局统一视图 | 按需高效流动 | 全域系统管理

百TB级仅需
3天



全局数据视图

跨地域、跨DC、跨设备数据统一访问入口，上层应用不需要关心数据布局，并提供数据强一致性保护。

温冷智能分级

数据按需预热，按需分级，支持多种策略配置，容量层和性能层数据调度效率提升3倍。

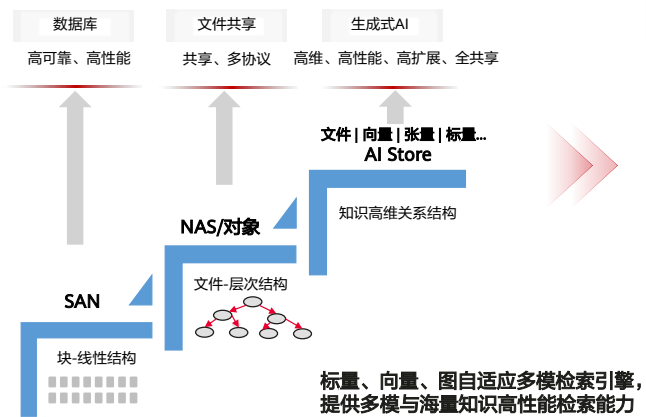
训练和推理

语料库容量层数据导入性能层训练，CKPT归档容量层，企业私域数据分级AI存储以支撑推理加速

- 数据编织Omni-Dataverse，帮助客户打破数据烟囱，数据全局可视、可管、可用
- 在传统的建设方式中，多个数据中心、多个地域的设备形成独立的数据烟囱，数据在跨域流动、多地域数据的归集和预处理时，百TB数据就需要10天左右的时间，效率低
- 华为推出了Omni-Dataverse方案，通过统一数据空间将跨地域、跨数据中心、跨设备的数据统一管理起来，形成统一视图，并提供统一访问入口，上层应用不需要关心数据布局，并为应用程序提供数据强一致性的访问保护，数据根据热、温、冷能够实现自动分级，为了提升数据本地访问效率，支持通过Cache方式对远端的数据进行预加载，实现统一数据调度，效率提升3倍以上，百TB文件归集只需要3天左右
- 有了Omni-Dataverse，数千/数万规模的 GPU能够以同步方式保存和加载checkpoint数据，提供统一的访问入口，任何数据修改能够立即对全局实时生效，极大地提升了数据的管理和使用效率

多模融合索引引擎

存储范式的演变

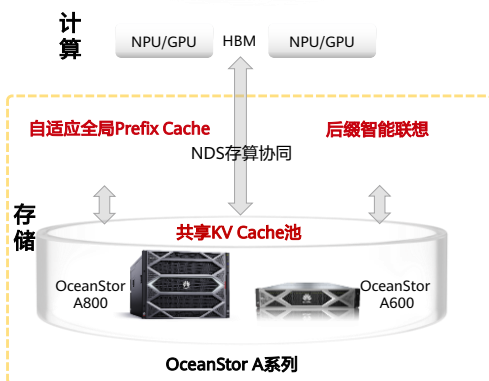


OceanStor AI存储提供高维知识库检索



存储推理加速方案

投研分析 单次输入>10万token
客户之声 单次输入>6万token
会议助手 单次输入>3万token



并发、多轮对话推理

多轮推理基于用户习惯采用**后缀智能联想**加速，推理吞吐提升

首Token时延降低

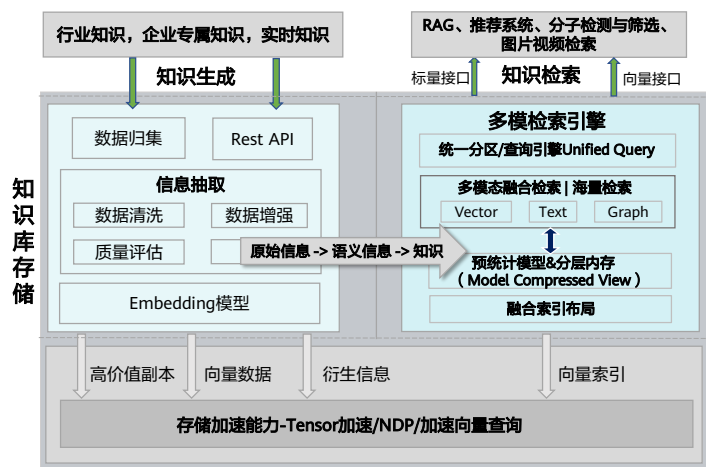
长序列通过**Prefix Cache**以查代算
 实现首Token时延最高降低

避免重算

持续化**KV Cache**，避免重复计算，多
 机算力推理共享，提升KV Cache命中，
 提升推理效率

AI知识库存储技术

极致性能 > 多维扩展 > AI原生 > 文件增值服务



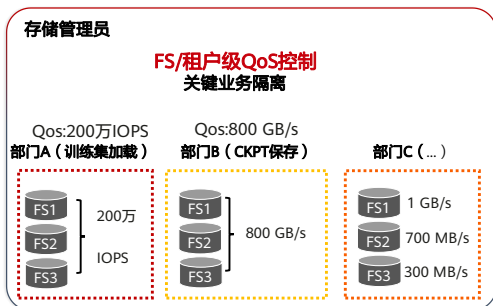
28 Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. All rights reserved.



- ① **知识生成**: 知识生成从月级到天级, 建库时长缩短10倍, 支持实时更新
- ② **高性能多模融合检索**: 知识检索性能领先业界1+倍, 支持**百亿级超大库容**检索, QPS > 1.5 K, 时延 < 100 ms
- ③ **大库容加持高召回率**: 支持百亿级大库容多模知识库召回率 > 95%
- ④ **线性扩容, 实现高资源利用率**: 采用分布式共享索引, 性能线性扩展 (> 90%), 提升资源使用效率
- ⑤ **业界独有高可用知识库**: 基于企业级容灾备份特性组合, 提供数据库高可用保障, 消除单点故障引发重新建库的巨大开销 (>月级)

- 检索增强: 异构分层检索技术, 介质亲和技术
- 流式高速归集+近数计算+内生知识提取, 知识生成10倍速率提升和毫秒级低延迟检索
- 数据归集与数据处理效率10倍提升, 数据准备周期缩短到天级, 挑战实时知识生成
- MTCQ标量向量融合检索, 达成百万级高并发融合检索达成毫秒级响应, 领先业界2倍
- 亿级库容QPS时延领先友商40%, 百亿级领先1倍+
- 模块化RAG+知识库精准推理, 百亿级检索召回率>95%
- 采用分布式共享索引, 实现性能线性扩容 (>90%)
- VectorSpan (共享大图): 基于共享存储全局共享一个索引实例, 单次查询无需跨节点Merge结果, QPS随横向扩展可以线性提升
- TieredStorageSearch (分层检索): 将向量检索引擎分布在多层存储, 依赖本层算力做近数据检索, 降低数据传输带来的带宽及功耗开销
- 基于图数据库的融合知识存储与检索: 知识图谱+向量融合图索引构建加速2倍, 知识库更新和检索性能相对FAISS提升50%3、通过大小模型协同多模态构建融合索引, 实现10亿量级知识图谱+向量融合, 知识库检索和构建性能提升2倍+, RAG推理精度相对纯向量库提升20%

SmartQoS服务质量控制技术



FS/租户级文件系统QoS控制

- FS/租户可自设置IOPS/带宽的QoS策略
- 租户间策略相互隔离，彼此不可见
- 管理员可操作所有租户下QoS策略

SmartQoS限高控制

- 限制IOPS、带宽、延时的指标
- 支持Burst特性允许短期突破限制

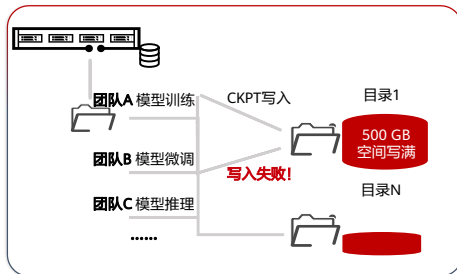
SmartQoS保低控制

- 可设置最低性能指标，保证训练集加载、CKPT读写等业务响应，避免xPU等待

- 为了节省开销、改善资源使用情况、提供不中断业务的升级、改善应用的可用性，逐渐往多业务融合共享、虚拟化的架构发展，这使得存储系统被多种业务负载混合使用，业务之间的相互影响，资源间的争抢不可避免。QoS特性正是设计来解决融合虚拟化架构下混合业务的资源使用问题，改变业务对资源的自然争抢，保障单个或某些业务的存储性能。
- OceanStor Dorado存储系统的SmartQoS主要提供了如下两个功能：
 - QoS策略功能：支持用户根据业务需求配置限高策略，防止扰邻；或者配置保低策略，保障业务性能。
 - 过载控制功能：保证内外部压力大于系统处理能力时，存储系统能持续对外提供稳定的服务。
- 租户级QoS控制：租户级IOPS/带宽的QoS控制指标
- 文件系统级QoS控制：
 - 文件系统级IOPS/带宽的QoS控制指标
 - 租户级和文件系统2级QoS控制同时生效
- SmartQoS限高控制：限制IOPS、带宽、延时的指标
- SmartQoS保低控制：可设置最低性能指标

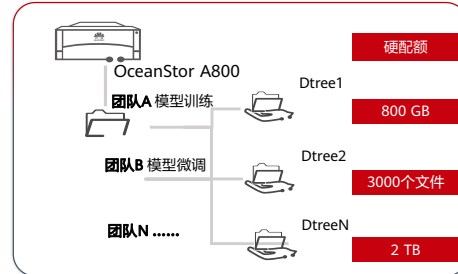
SmartQuota文件系统配额技术

AI IS



		目录配额	用户配额	用户组配额
配额类型	容量	Y	Y	Y
	文件数量	Y	Y	Y
阈值	容量硬配额	Y	Y	Y
	文件数量硬配额	Y	Y	Y
	容量软配额	Y	Y	Y
	文件数量软配额	Y	Y	Y

TO BE

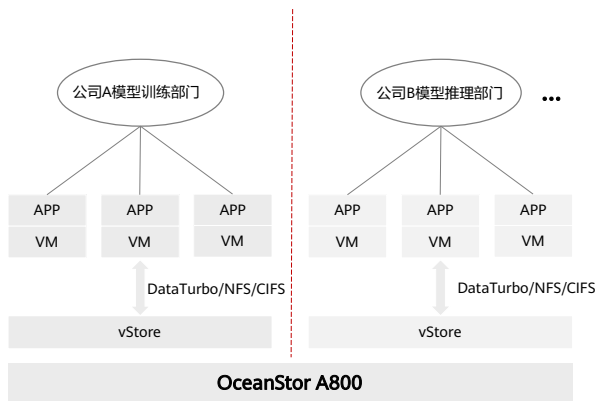


OceanStor A800基于Dtree支持SmartQuota管理，DTree管理其目录下所有的子目录和文件的配额。

- 支持多目录创建Dtree
- 支持文件系统级和Dtree级嵌套配额
- 支持默认用户配额/默认组配额/特定组默认用户配额

- 配额的主要作用是方便系统管理员管控资源使用者（包括目录、用户、用户组）的存储资源，以限制指定使用者可使用的磁盘空间，从而避免出现某些用户过度占用资源的问题。
- 在SmartQuota特性中，DTree（目录配额树）是一个重要的概念。DTree是文件系统内的特殊目录，可以被创建在文件系统的任意一级，DTree管理其目录下所有的子目录和文件的配额（包括递归的普通子目录和文件，DTree目录下不能再创建DTree）。DTree只能通过管理终端（命令行或GUI管理界面）来创建、删除和修改，而不能通过客户端主机来修改。另外，作为配置配额时的载体，目录配额、用户配额、以及组配额都只能在DTree上配置。文件系统的根目录也是DTree，因此也能设置相关配额。
- SmartQuota支持如下配额类型：容量软配额（space soft quota），容量硬配额（space hard quota），文件软配额（file soft quota），文件硬配额（file hard quota）
- SmartQuota支持设置配额的对象：DTree配额，用户配额，用户组配额

SmartMulti-Tenant多租户隔离功能



多租户网络隔离

- 客户端通过指定的LIF只能访问LIF归属的租户下的文件系统、快照等资源

多租户业务隔离，加速大模型开发

- 业务配置隔离
- 业务访问隔离
- 业务数据隔离

通过多租户技术，带来以下客户价值

- 节省软硬件成本
- 提高资源分配灵活性
- 简化大模型数据资源配置和管理
- 提升模型数据安全性

- SmartMulti-Tenant，将物理存储系统分为多个虚拟存储系统的功能，以便为不同客户端提供服务并提高存储利用率。
- 多租户特性仅对NAS业务有效。在支持多租户特性的存储设备中，文件系统（包含Dtree和配额配置），认证用户（包含UNIX、Windows本地认证用户和本地认证用户组），共享，域配置，LIF（逻辑接口）、QoS策略等逻辑资源均与租户建立归属关联，以实现资源隔离，提高安全性。

目录

1. AI存储产品与解决方案
2. AI存储关键技术
- 3. 星河AI网络产品与解决方案**
4. 星河AI网络关键技术

网络对于AI基础设施的重要性成为行业共识

人工智能计算就像一台超跑，网络是超跑的能源传输系统

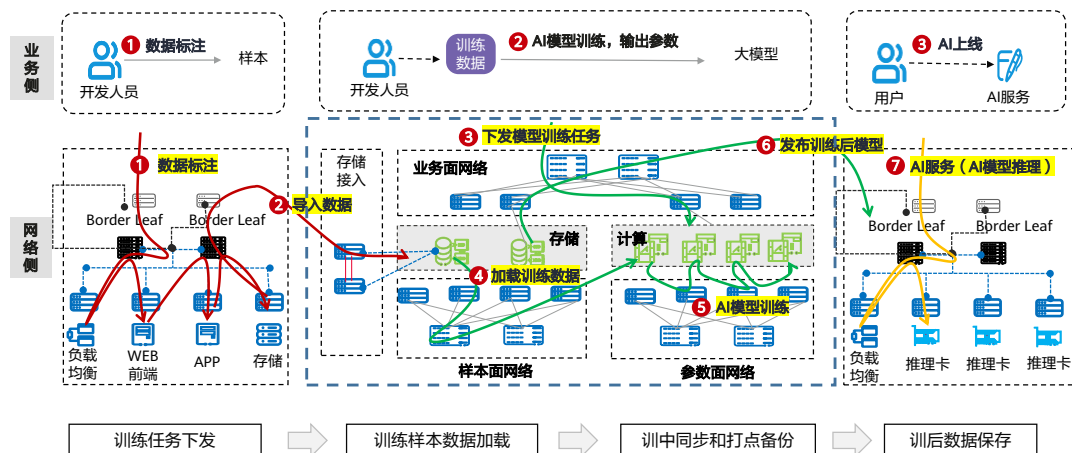


好网络能提升算力20%，
即使投资占AI基础设施20%，实际上也是
免费的

网络的丢包率极大影响算力效率

- 万分之一丢包，算力变九成
- 千分之一丢包，算力变七成

星河AI智算网络承载的业务场景



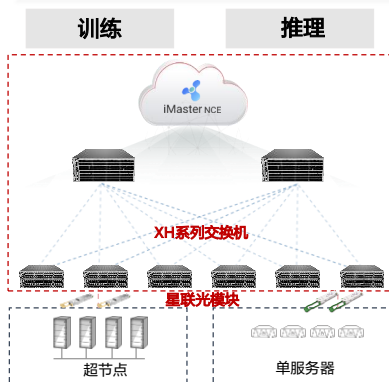
• 网络侧业务流程：

- 数据标注：开发人员在业务网络或其他网络中完成数据集的处理。
- 导入数据：通过存储业务网络将训练数据集及训练模型导入存储系统。
- 下发模型训练任务：AI训练平台通过业务面&带内管理网络下发模型训练任务。
- 加载训练数据：
 - 训练任务镜像通过样本面加载到参数面的AI计算服务器。
 - AI计算服务器通过样本面网络加载AI模型。
 - AI计算服务器通过样本面网络读取训练数据。
- AI模型训练：
 - 训中同步：AI计算服务器通过参数面网络完成模型的参数同步。
 - 打点备份：CheckPoint文件通过样本面网络写入存储，防止训练中断丢失进度。
- 发布训练后的模型：完成AI训练的模型通过样本面网络写入存储，供给后续AI模型推理使用。
- AI服务：AI计算服务器可通过存储面/样本面网络读取训练好的模型进行AI推理任务。

星河AI高算效数据中心网络解决方案

$$\text{AI集群算力} = \text{单卡算力} \times \text{集群规模} \times \text{集群效率} \times \text{集群可用率}$$

(网络扩大算力) (网络加速算力) (网络稳定算力)



极智算效：高吞吐，性能加速

- 独家AI加速，网络有效吞吐提升**17%**



极智韧性：月级训练不中断

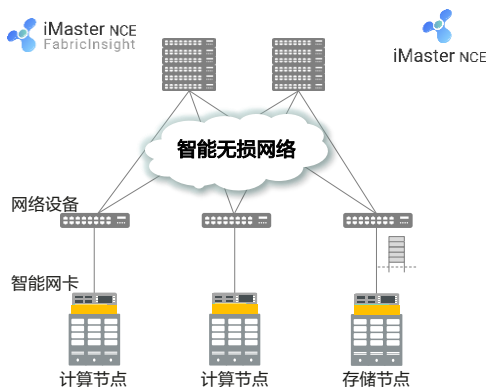
- iFlashboot算法，设备异常/升级**不断训**
- 组网灵活，单层框式交换机网络**可靠性2X**



极智运维：以太网网络，开放易获得

- 开放以太统一运维，TCO下降**36%**
- 设备和线缆协议开放，易获得，供货周期短
- 超级以太网联盟（UEC），构建端到端的**全栈增强系统**

AI计算场景无损网络解决方案组件



- **iMaster NCE-FabricInsight**：支持RoCE流量KPI可视，例如路径可视、丢包可视、时延（RTT）可视，保障应用的持续稳定运行。
- **iMaster NCE-Fabric**：支持AI网络加速功能（NSLB），通过汇总物理拓扑，统一进行路径计算，极大地提升AI训练性能。
- **网络设备**：支持AI ECN，利用智能无损算法，实时感知网络流量特征，动态调整队列ECN门限，无损网络性能达到专网水平。
- **智能网卡**：将RDMA传输层及以下协议栈卸载到网卡硬件上，与网络协同加速，进行端到端拥塞控制，实现整网高吞吐。

- 智能网卡上自带处理器或带有专门设计的ASIC芯片，可承担使用非智能网卡时由计算机处理器承担的一部分任务，比如支持RDMA的智能网卡将传输层以下协议栈卸载到网卡上处理。因而即使在网络信息流量很大时，也极少占用计算机的内存和CPU时间。智能网卡性能好，价格也较高，主要用在服务器上。
- ECN（Explicit Congestion Notification，显式拥塞通告）：是指流量接收端感知到网络上发生拥塞后，通过协议报文通知流量发送端，使得流量发送端降低报文的发送速率，从而从早期避免拥塞而导致的丢包，实现网络性能的最大利用。
- RTT（Round-Trip Time，RTT时延）：是网络中的一个重要的性能指标，表示从发送端发送数据开始，到发送端收到来自接收端的确认（接收端收到数据后便立即发送确认），总共经历的时延。

高密400G交换机产品

框式核心交换机



CloudEngine
16808



CEL36DQHG-X
(400 GE)

规格：
支持8个单板
一个单板36*400 GE
单框最多**288个400 G**口

框式核心交换机



CloudEngine XH16800-X系列



CEX-L36DQ2YSJ2
(36 400 G+2*100 G)

规格：
支持4/8/16个单板
一个单板36*400 GE
单框最多**576个400 G**口

400 GE盒式交换机



CloudEngine 9860-4C-EI-A
(400 GE)



CE98-D8DQ
(400 GE拆分成2*200 GE)

规格：
支持子卡4个插槽
一个插槽8*400 G
共32*400 G
400 G口支持拆分为
2*200 G

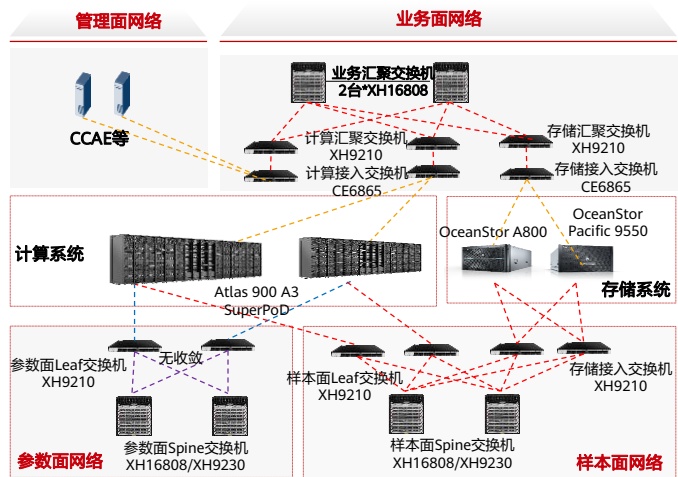
400 GE盒式交换机



CloudEngine XH9210-32D

规格：
1 U
32*400 G
400 G口支持拆分为2*200 G

框盒二层集群组网样例架构



华为集群框盒二层组网

超融合网络四平面设计

支撑大规模组网，统一承载、集中管控运维、独立扩展、故障隔离

极简二层组网架构

减少光模块和线缆消耗，光模块数量相对与三层方案减少20%

高性能参数面

高带宽**无收敛胖树拓扑**，用于AI大模型训练中的参数交换

高性能样本面

高带宽用于计算节点访问高性能存储

华为星联光模块

400G SR8光模块



- 技术协议：400GBASE-SR8
- 电接口：
 - 8x53.125 Gbps PAM4
- 光接口：
 - 8x53.125 Gbps PAM4
 - 850 nm波长，MPO-16 APC连接器
- **支持100 m**
- 功耗 < 12 W
- QSFP-DD封装
- **支持400 G一分二2*200 G**

400G FR4光模块



- 技术协议：400GBASE-FR4
- 电接口：
 - 8x53.125 Gbps PAM4
- 光接口：
 - 4x106.25 Gbps PAM4
 - CWDM4波长
 - Duplex LC连接器
- **支持2 km**
- 功耗 < 12 W
- QSFP-DD封装

800G 2FR4光模块



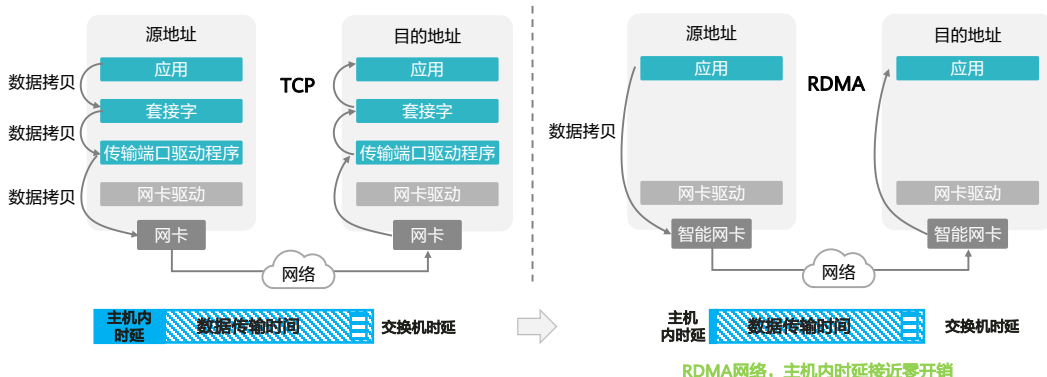
- 技术协议：OSFP-800G-2FR4
- 电接口：
 - 8 × 100 G-PAM4
- 光接口：
 - 8 × 100 G-PAM4
- **支持2 km**
- OSFP封装

目录

1. AI存储产品与解决方案
2. AI存储关键技术
3. 星河AI网络产品与解决方案
- 4. 星河AI网络关键技术**

模型训练的网络关键技术1：RDMA是刚需

- RDMA (Remote Direct Memory Access, 远程直接内存访问)，是一种通过网络在两个应用程序之间搬运缓冲区里的数据的方法，为了解决网络传输中服务器端数据处理延迟而产生的技术。它将外设（网卡等）能直接访问本地主机内存的能力（Direct Memory Access, DMA），扩展到外设（网卡等）能直接访问远端主机内存的能力。



- TCP协议的主要限制：
 - 延迟大：TCP协议栈在接收/发送报文时，内核需要做多次上下文切换，每次切换需要耗费5~10微秒左右的时延。三次的数据拷贝和依赖CPU进行协议封装，导致仅协议栈处理就带来数十微秒的固定时延。
 - CPU消耗高：TCP通信需要主机CPU多次参与协议栈内存拷贝。网络规模越大，网络带宽越高，CPU在收发数据时的调度负担就越大，导致CPU持续高负载。
- RDMA的主要优势：
 - 内核旁路：应用程序无需执行内核的内存调用就可向网卡发送命令，将协议栈卸载到网卡上，无需CPU和内核介入，可以轻易的实现超低时延的数据处理、超高吞吐流量传输。
 - 内存零拷贝：网卡可以直接与应用内存相互传输数据，无需在应用内存与内核之间复制数据拷贝。因此，传输延迟会显著减小。

模型训练的网络关键技术2：大带宽是基础

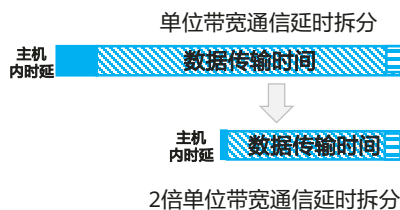
- 大模型训练为带宽敏感型，数据搬移时间主要取决于有效带宽
- 网络交换的时间占比不高，交换时延对模型训练效率影响不大，静态时延不敏感

接入带宽越高，系统扩展性越好

接入带宽提升16倍：100 Gbps-> 1.6 Tbps

- Allreduce缩短14倍
- 通信时延占比从35% -> 3.7%

提高接入带宽，数据搬移时间可近乎线性降低

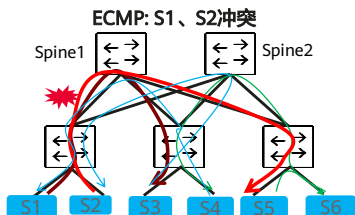


- 提升接入带宽，带来直接的数据搬移时间的优化

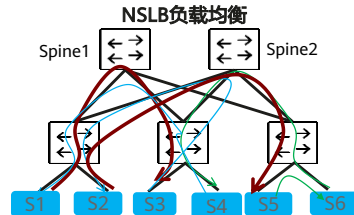
模型训练的网络关键技术3：负载均衡是关键

- 大模型训练系统，网络最关键在于保证通信的有效带宽，负载均衡对有效带宽影响最大，为最关键问题。
- 无阻塞网络，若负载不均衡，导致冲突流有效带宽下降，冲突流的传输时间恶化。集合操作通信的完成时间由最慢的节点的完成时间决定。

2条流冲突，有效带宽下降一半，传输时间恶化



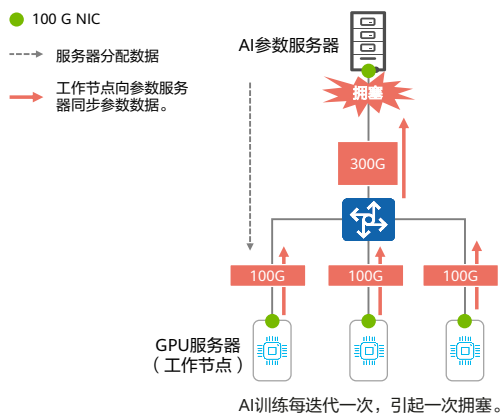
NSLB流量最优路径编排实现网络级负载均衡



Ring-Allreduce通信：
S1->S3; S3->S2; S2->S5; S5->S6; S6->S4; S4->S1。

- NSLB: Network Scale Load Balance (网络级负载均衡)，基于华为交换芯片高精度telemetry能力，采集流量矩阵作为路由算法输入，用以控制AI流量的转发路径，避免负载不均，提升AI训练效率。
- AI集群进行Ring-Allreduce通信，交换机通过ECMP转发流量时，由于哈希问题，S1->S3和S2->S5的流量都经由Spine1转发，流量在Spine1发生拥塞，S1->S3和S2->S5的通信完成时间变长，整体AI训练任务变长。通过NSLB技术，可以将节点之间的通信均匀的分布在不同的转发路径上，避免负载不均，从而提升AI训练效率。

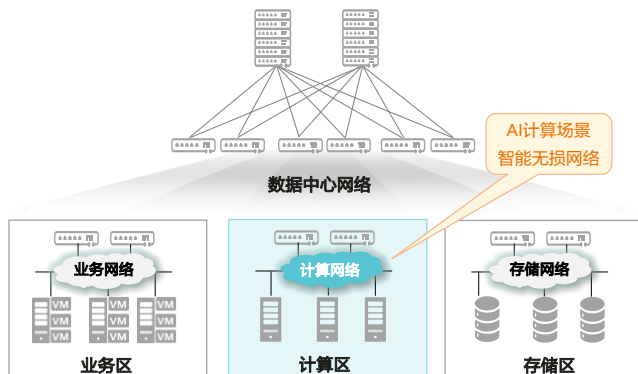
模型训练的网络关键技术4：无损网络是保障



- 分布式AI计算的迭代过程中，大量突发流量会在几毫秒内将数据分配到工作节点，当传递和更新中间参数时，发送到参数服务器的小规模流量会发生Incast。在这些流交换的过程中，网络可能会出现丢包、拥塞、负载失衡等问题。因此，一些流的FCT（Flow Completion Time，流完成时间）被延长。如果有一些流发生延迟，可能会导致存储和计算资源无法得到充分利用，进而延迟了整个应用程序的完成时间。
- 为满足分布式AI计算的需求，需要在网络中部署各类智能无损技术，构建高速零丢包的数据中心网络。

无损网络在数据中心网络中的位置

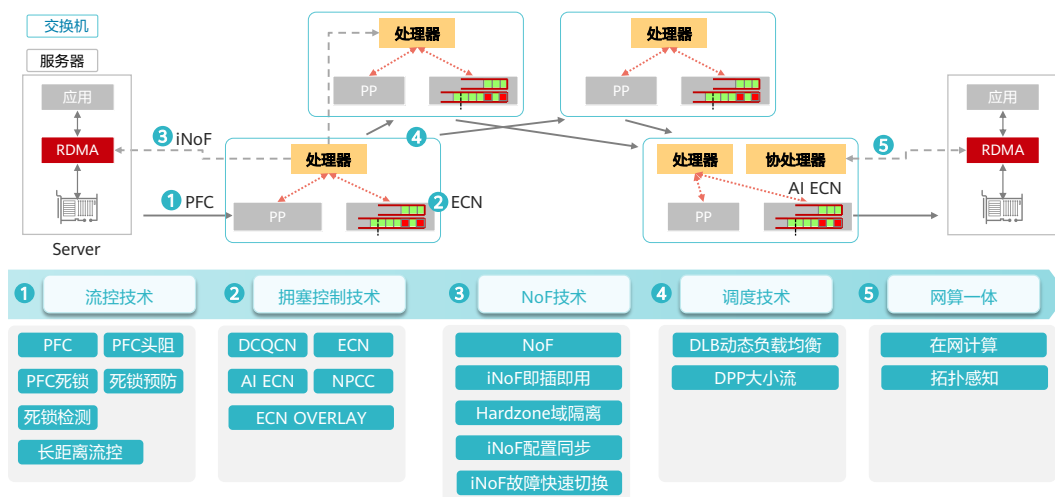
- 数据中心网络根据承载的业务从逻辑上分为业务、存储和计算三种网络（实际物理组网可能会融合部署）。根据报文在网络中传输是否需要无丢包传输，又分为有损网络和无损网络。



- 业务网络：数据中心通过业务网络对外提供各种服务，要求网络支持安全、可靠和弹性伸缩能力，通常部署为**有损网络**。
- 存储网络：主要用于计算和存储、存储和存储之间通信，要求网络具备低时延、高吞吐能力，通常部署为**无损网络**，如RoCE/FC网络。
- 计算网络：主要承担高性能计算和**AI分布式训练任务**，要求网络具备低时延、高吞吐能力，通常部署为**无损网络**，如RoCE/IB网络。

- FC: Fibre Channel, 光纤通道
- IB: InfiniBand, 无限带宽

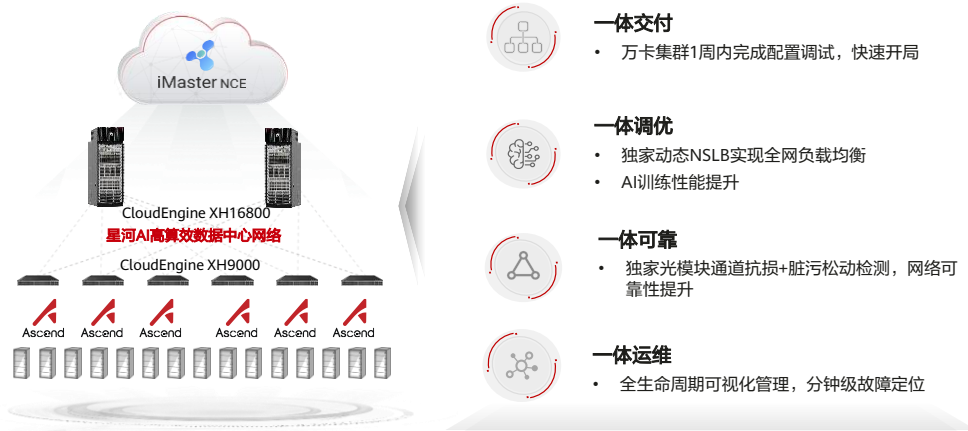
华为智能无损技术应用全景



- iNoF: Intelligent Lossless NVMe Over Fabrics。
- PFC: 优先级流控, 由IEEE 802.1Qbb定义的一个协议, 主要解决拥塞导致的丢帧问题。
- PFC死锁预防, 通过识别环形缓存依赖并破除其产生的必要条件, 从而解决PFC死锁的问题, 提高网络可靠性。
- AI ECN: 通过iLossless智能无损算法动态调节ECN门限, 以获得最大带宽与最小时延。
- NPCC: 全称为Network Proactive Congestion Control, 在网络设备上基于本设备的拥塞状态主动控制每条流的发送速率, 主要用于长距无损网络。
- 以上技术中, 调度技术与NoF技术为交换机运行协议实现, 流控技术与拥塞控制技术需要交换机与服务器之间共同协作完成。
- 流控技术的作用范围为服务器与交换机、交换机与交换机之间, 实现端到端的基于优先级的流量控制, 降低上游的特定流量发送速率, 有效降低下游因拥塞导致的丢包。
- 拥塞控制技术通过通信两端服务器以及交换机共同完成, 交换机在特定流量达到指定门限值时为报文打上特殊标记, 接收端收到之后向发送端发送通知, 告知发送端降低发送速率, 避免特定业务流量的拥塞发生。
- NoF: 通过服务器与交换机的共同协作, 实现通过以太网承载NVMe协议的存储访问。
- 调度技术: 作用于交换机之间, 使用调度技术达到更高效的网络负载, 提高网络整体的传输效率。

- 网算一体：重点保障智能无损网络HPC小字节报文场景的低时延效果，降低任务完成时的通信等待时间，提升计算效率。

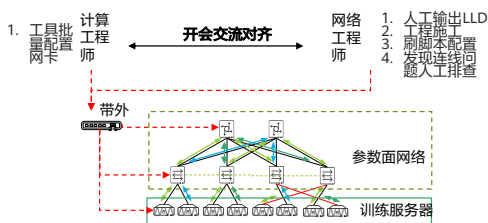
网络计算深度协同，释放AI时代高算力



- AI训练场景对于网络的诉求是大规模、高吞吐和高可靠；针对AI场景网络的三大诉求，华为提供了三种方法来释放高算力：
 - 1、首先是针对AI大模型高带宽、超大规模集群组网需求，适配万卡集群是网络最基本的要求，华为提供端到端200GE/400GE设备构建大带宽网络，匹配大模型训练基本硬件算力诉求。华为框框两层组网可支持万卡超大规模集群。
 - 2、AI大模型对网络的另一个要求是高吞吐，面对大规模网络采用算网一体化的方式部署，开局效率可以提升10倍以上；在AI场景中网络时延不是关键指标，而网络吞吐才是业务性能的关键因素，采用AI智能加速功能，提高网络吞吐，训练效率提升20%。
 - 3、最后是高可靠，华为采用智能运维保证训练全程AI网络关键指标实时可视，分钟级识别慢主机（丢包、超时延），保障训练不中断。
- 网络与计算协同实现算网一体融合，实现算力网络“运得多，运得快，运地稳”的目标，从而100%释放算力。

一体交付：算网协同一体开局，即插即用

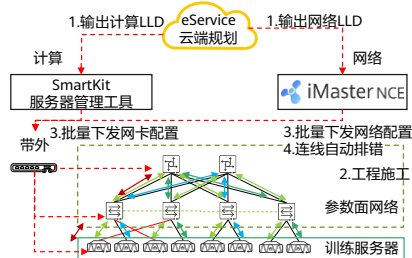
业界：计算网络独立配置，刷脚本低效易出错



- 部署依赖人工，计算&网络解耦交付网卡配置与网络配置冲突
- 人工基于LLD生成配置脚本，低效易错
- 万卡组网万线互联，连线问题人工排查难

某项目投入6人2个月配置调试；某项目因配置问题定位两周

华为：算网协同一体开局，1周上线0差错

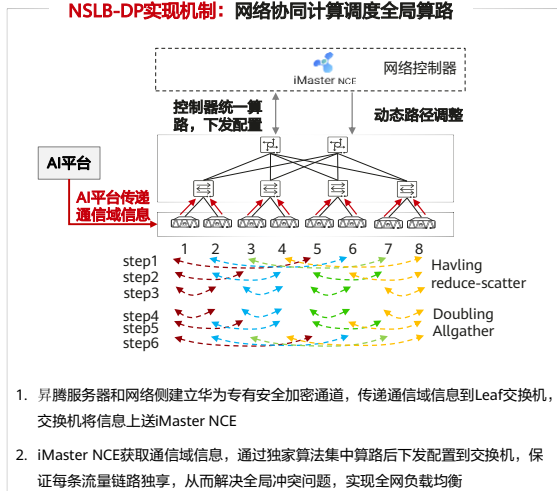


- eService工具云端规划，网算协同，网卡网络配置强一致
- 基于LLD自动生成配置并加载，计算/网络即插即用
- LLD规划与LLDP实际拓扑秒级比较，自动排查线路错误

计算/网络即插即用0差错，万卡集群1周内完成配置调试

一体调优：NSLB-DP实现全网负载均衡

NSLB-DP实现机制：网络协同计算调度全局算路



- MQC包含三个要素：流分类（traffic classifier）、流行为（traffic behavior）和流策略（traffic policy）。

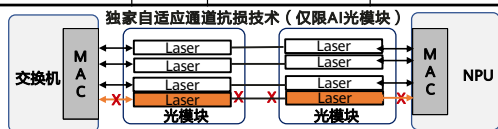
一体可靠：计算+网络支持光模块通道抗损与脏污松动检测

业界：年失效率**4‰**，万卡集群平均6天一次训练中断

- **失效率高：**常年运行温度高于40°C，30%模块亮温在**50-60°C**；万卡集群接入侧**15000**个光模块，年失效率**4‰**，其中单通道故障占比**90%**，万卡集群每年因光模块故障造成**60**次训练中断。
- **脏污松动影响大：**机房施工和操作不规范极易出现脏污松动等问题，X项目**2万个光模块**，脏污/松动造成链路闪断、集群全网震荡，先后投入**200人天**现场检测和清理脏污。

华为：年失效率低至**0.4‰**，可靠性提升**10X**

	业界	华为	对比
故障域	光模块	通道	华为降速不断训
异常检测	故障	脏污/虚插/器件失效	业界不支持
失效故障率（年化）	4‰	0.4‰	减少10倍



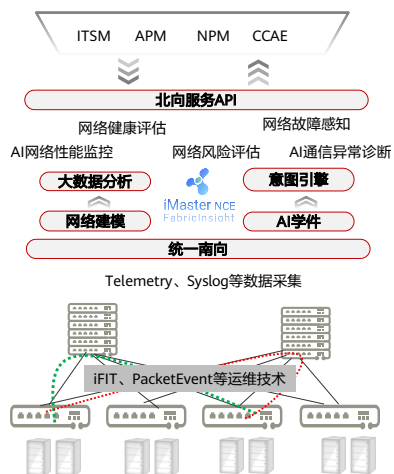
交换机-模块-NPU端网协同，通过**Flexlane**技术支持单lane隔离，降速不断网

iMaster NCE



- **PRBS训前主动压测**，提前识别亚健康健康光模块（**误码率>1E-6**）；
- 基于独家**短距光回损定位技术**，精准识别脏污松动故障点（华为**分钟级**vs业界人工排查**3小时**）；

一体运维：iMaster NCE-FabricInsight



训前：网络健康评估

网络拓扑：全域拓扑+状态可视，一键检索定位

算力视图：任务-网络-算力卡健康检查，事件/状态/性能质量实时可视

光模块管理：全网光模块状态性能可视，自动检测20+典型光模块故障

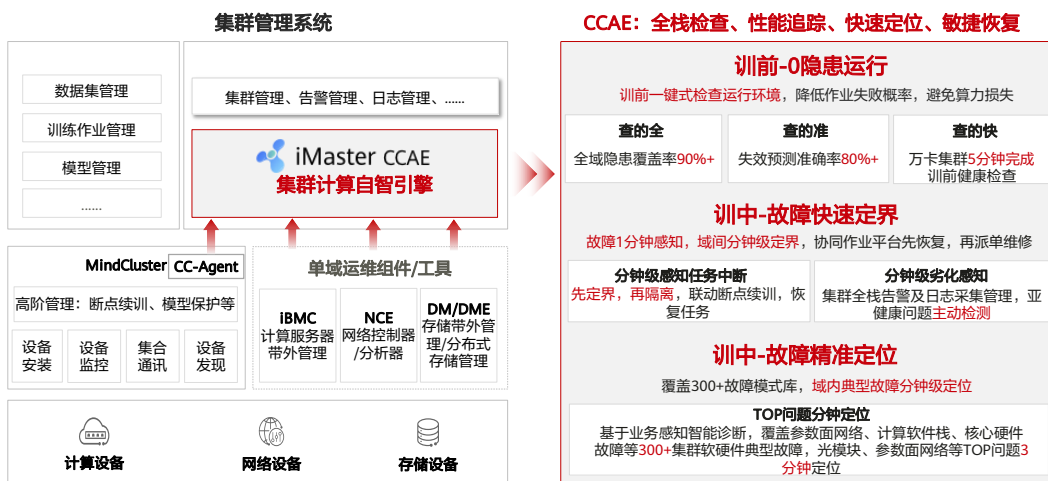
训中：通信异常诊断

AI性能观测：独家Service Telemetry微秒级检测，性能指标实时监控

iFIT全流分析：还原流路径，逐跳丢包可视，分钟级定界丢包位置

丢包原因分析：PacketEvent实现会话丢包/超时延实时检测，分钟级定位会话丢包原因

一体运维：iMaster CCAE集群管理系统



思考题

1. （多选题）以下哪几项技术与OceanStor A800的性能有关？

- A. 数控分离架构
- B. DataTurbo文件加速引擎
- C. NDS存算协同
- D. 多协议融合互通

- 答案：ABC

思考题

2. （多选题）以下哪几项属于智能无损网络关键技术？

- A. 流控技术
- B. 拥塞控制技术
- C. RDMA技术
- D. NoF技术

- 答案：ABD

本章总结

- 本章重点讲解了智算中心的存储与网络两大核心领域：
 - 1. 存储产品与关键技术：涵盖OceanStor A800/A600高性能AI存储、Pacific分布式存储，突出数控分离架构、DataTurbo加速、NDS存算协同、多协议互通等关键技术，实现极致性能、弹性扩展与AI原生优化。
 - 2. 网络产品与关键技术：介绍星河AI智算网络架构，强调高吞吐、极智韧性与开放运维，配套高密400G交换机与智能无损网络技术，保障大规模集群的高效稳定运行。

学习推荐

- 数据存储: <https://e.huawei.com/cn/products/storage>
- 企业网络: <https://e.huawei.com/cn/solutions/enterprise-network>

Thank you.

把数字世界带入每个人、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界。

Bring digital to every person, home, and
organization for a fully connected,
intelligent world.

版权所有 © 华为技术有限公司 2026。

保留一切权利。

未经华为事先书面许可，任何人不得对本资料进行复制、修改、
整合、改编、翻译，也不得将本资料或其任何部分或基于本资
料的衍生作品提供、出售、转让、再许可给任何人用于华为
许可以外的任何其他用途。

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2025.

All Rights Reserved.

Without prior written permission of Huawei, no one is
allowed to reproduce, modify, integrate, adapt, translate
this Document, or provide, sell, transfer, sublicense this
Document or any part of this Document or its derivative to
any third party for any other purpose otherwise permitted
by Huawei.



计算设备日常运维



前言

- 本章主要讲述服务器的日常运维、使用Ansible工具运维以及服务器的固件升级。

目标

- 学完本课程后，您将能够：
 - 了解运维的基本概念；
 - 掌握服务器日常运维方法；
 - 了解Ansible基础理论；
 - 掌握服务器的固件升级方法。

目录

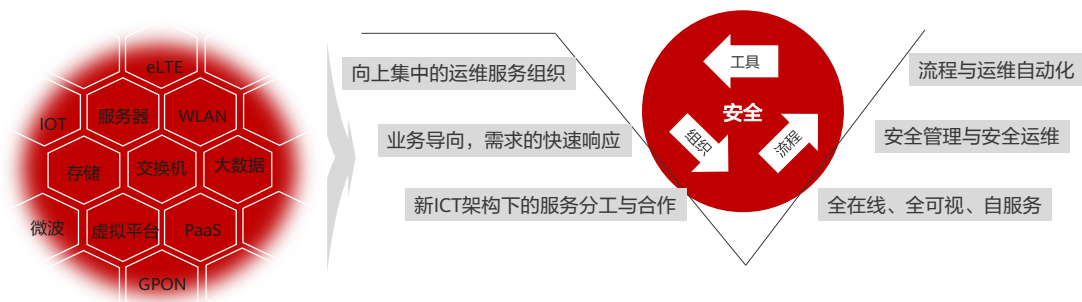
1. 计算设备运维
2. 自动化运维Ansible
3. 固件升级

我们正处在新工业革命的历史时期



云计算、大数据、移动互联、物联网、人工智能和社交网络等信息化技术的发展已带来企业业务模式的巨大转变。未来，信息技术将重构企业的信息流、物流和资金流，并带来显著的效率提升和商业模式创新。

网络复杂性带来更高运维要求



运维管理向可视化、自动化、智能化演进

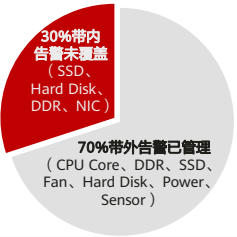


- 随着计算产业的发展，一线工程师每年负责交付和维护的设备数量成倍的增长，从最初的每年几万台到几十万台，再到现在的百万级。纯靠人工的交付和维护已经无法满足每年百万级设备量的交付和维护。工具化、自动化、智能化是运维管理软件发展的方向。是不是说我们最终的目标是智能化，直接跳过工具化、自动化就可以呢？答案显然不是，面向开发者的单机管理接口、面向服务工程师轻量便捷的批量工具、面向客户的自动化集中网管、以及跨栈跨域的智能化管理软件，都是必不可少的。

企业运维挑战 - 故障类型复杂，监控覆盖不全，运维难度大

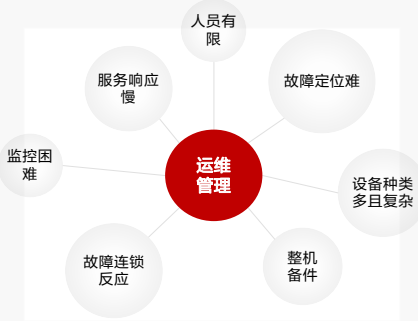
故障类型复杂，覆盖不全

服务器新的介质、器件迅速发展，产品复杂性增加，服务器硬件告警类型复杂（CPU、内存、主板、系统电源、硬盘故障等），需要带内带外综合方式监控。



数据来源：华为数据中心调研

运维难度大



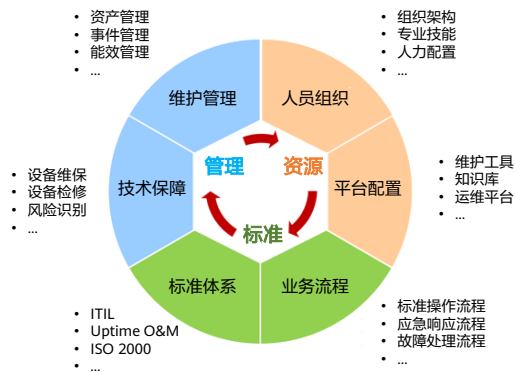
企业运维挑战 - 运维成本高，效率低

部署周期长	能耗高	效率低	边缘管理困难
 45人月 基础设施规划设计  12人月 部署验收 • 子系统交叉，工程界面复杂、建设周期长。 • 定制化、硬装、软调无法简单复制。	 50% OPEX用于电费开支  900万 1000KW数据中心年电费 • 传统数据中心PUE普遍在1.5左右。 • 市电的获取难度大。 • 电费高昂。	7*24小时人工  • 数据中心是孤岛状态，分散管理，被动维护。 • 机房巡检依靠人工7*24小时维护。	网络规模10000+  寒地 沙漠 路边 • 设备数量庞大，部署、维护、巡检人工实现难度大，成本高。 • 边缘业务更新迭代频繁。 • 部署环境复杂。

- 随着ICT系统的规模不断扩大，设备分散部署，业务承载量不断上升导致设备故障率越来越高，企业在ICT运维管理方面的投入从人力，时间，资金三个方面成明显的上升趋势，ICT运维管理要求越来越高，设备部署的人力投入大，周期长，维护人力投入，故障处理的人力与时间投入大，扩容导致重复无用的资金浪费等问题日益彰显，根据Forrester公布的数据显示：企业70%的IT投资被传统的运维所消耗！

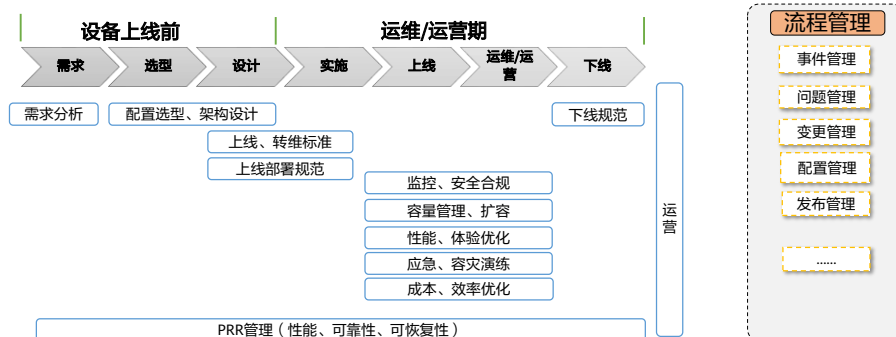
什么是运维

- 运维，本质上是对网络、服务器、服务的生命周期各个阶段的运营与维护，在成本、稳定性、效率上达成一致可接受的状态。

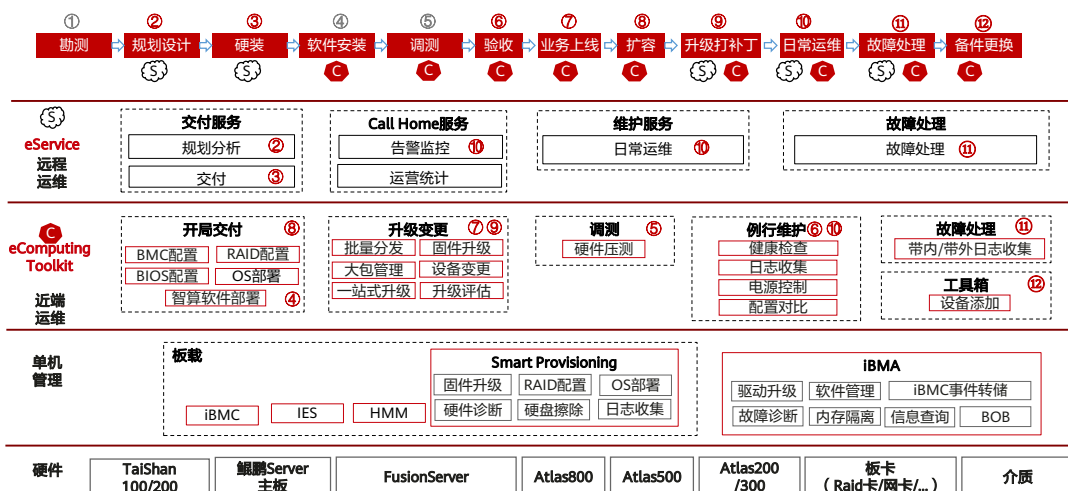


如何做好运维

- 技术层：梳理各产品运维生命周期的工作，识别各项工作的关键举措。
- 流程层（ITIL流程管理框架）：变更、事件、问题管理等。



华为服务器管理软件体系



- 服务工程师可用的工具全景图，包括SP（Smart Provisioning）、eComputing Toolkit和eService。
- IES：Atlas Intelligent Edge System，Atlas智能边缘管理系统。
- HMM：Hyper Management Module，超级管理模块，X6800的HMM是实现服务器管理的控制单元，兼容服务器业界管理标准IPMI2.0规范。HMM负责电源和风扇的集中管理，是服务器节点iBMC的管理延伸，主要负责电源和风扇健康状态监控、资产信息和实时数据获取、散热调速、网络汇聚。

日常巡检在运维中的重要性

确保系统稳定运行

- 通过定期对硬件、软件和网络进行检查，可以及时发现潜在问题并采取相应措施，从而保障系统的稳定性和安全性。例如，检查服务器的电源供应、风扇、温度传感器等硬件健康状态，确保其正常工作。

预防故障

- 日常巡检能够有效预防并快速定位问题，减少因突发故障导致的服务中断风险。例如，通过监控应用系统的连通性、响应时间和资源利用率等指标，可以提前发现并解决可能存在的问题。

提升运维效率

- 自动化巡检可以改变传统手动巡检的工作方式，支持用户自定义巡检脚本和对象，覆盖即时性、周期性等巡检场景，从而减少巡检工作量并提高巡检有效性。例如，使用自动化的工具和平

台实时监控状态，并及时发现故障

保障数据安全

- 在日常巡检中，关注安全公告提醒，及时发现安全威胁，消灭漏洞，是维护数据安全的重要手段。例如，通过每月定期执行一键体检，可以及时检查出当前环境存在的技术、安全、环境问题，并协调相关资源解决问题。

提升决策支持

- 智能巡检报告功能嵌入现代运维体系中，为提升运维效率、降低故障风险以及实现业务连续性目标发挥了重要作用。未来的巡检报告将在提供更多深度洞察、更优决策支持的基础上继续赋能企业运维。

规范化管理

- 制定定期巡检计划和内容，对系统设备进行规范化日常巡检，并根据项目情况调整巡检频次，有助于全面、细致地监控和管理IT设备。例如，在春节、国庆等长假前及重大安保活动期间，须进行专项巡检，并提供相应的巡检报告。

服务器日常巡检目的

- 服务器日常维护巡检目的如下：
 - 及时发现并消除设备运行过程中可能存在的缺陷或隐患，并采取适当的措施予以恢复和处理，维持设备的健康水平，降低设备的故障率。
 - 实时掌握设备和网络的运行状况，了解设备和网络的运行趋势，提高维护人员对突发事件的处理效率。
 - 通过定期维护和保养设备，使设备的健康水平长期处于良好状态，确保系统能够安全、稳定、可靠的运行。
 - 通过定期检查、备份、测试、清洁等手段，及时发现设备在运行过程中出现的自然老化、功能失效、性能下降等缺陷，并采取适当的措施及时予以处理，以消除隐患，预防事故的发生。

日常巡检原则

- 原则如下：
 - 采用唯一的标识或名称；
 - 创建问题解决记录日志；
 - 一次只做一个改动，并记录结果；
 - 使用华为提供的工具、资源、软件；
 - 清除操作系统和应用软件的更新；
 - 制定可靠的备份计划；
 - 现场保留备件，故障时及时更换；
 - 保存最新网络拓扑图方便解决问题。

- 设备采用唯一的标识或名称：建立设备名称表，可避免多个组件使用同一资源的冲突。
- 创建问题解决记录日志：尽可能一次只做一个改动，并在改动之后，记录每次改动的结果，包括所收集的错误信息和其它额外信息。
- 使用华为提供的工具、资源、软件，避免潜在问题或其它问题发生。清楚操作系统和应用软件最近的更新情况，并根据需求更新软件。
- 制定可靠的备份计划。
 - 根据服务器的运行情况，定时备份数据；
 - 如果数据频繁改变则需要随时备份；
 - 根据信息存储需要，保留备份库；
 - 定时检测备份以保证数据正确保存。
- 现场保留一定数量的备件，以便出现故障时及时更换。
 - 备件使用后，需及时补充；
 - 增加设备前，检查潜在的设备冲突。

现场巡检（1）

- 现场巡检包含机房巡检和服务器巡检两方面。
- 机房巡检标识：

图标	说明
	提示危险用电器件。请注意防止电击危险。请勿打开此器件。 警告：所有带有此标识的器件都存在电击危险，被标识区域没有可维护的器件！
	提示危险器件。该器件可能造成电击危险。被标识区域没有可维护器件，请勿打开此器件。 警告：请注意防止电击危险，请勿打开此器件！
	提示高温表面。 警告：小心烫伤，请等器件降温后再接触！
	提示危险用电器件。该标识表示误操作可能会导致设备损坏或人身伤害。
	该标识是设备外部的接地标识。接地电缆的两端分别接在不同设备上，表示设备必须通过接地点接地，保证设备正常运行及操作人员的人身安全。
	该标识是设备内部的接地标识。接地电缆的两端都接在同一个设备上的不同组件上，表示设备必须通过接地点接地，保证设备正常运行及操作人员的人身安全。
	该标识表示为静电敏感区，请勿徒手触摸设备。在该区域操作时，请采取严格的防静电措施，例如佩戴防静电腕带或者防静电手套。

现场巡检（2）

- 机房环境检查主要包括机房内部的温湿度、供电等。
- 参考关注技术指标项如下：

序号	技术指标项	检查结果	参考
1	工作温度		10°C ~ 35°C (41°F ~ 95°F)
2	存储温度		-40°C ~ +65°C (-40°F ~ 149°F)
3	温度变化率		15°C/h (59°F/h)
4	工作湿度		8% RH ~ 90% RH (无冷凝)
5	存储湿度		5% RH ~ 95% RH (无冷凝)
6	工作海拔高度		≤3000m
7	电源		交流供电：输入电压范围100V AC ~ 240V AC，50/60Hz 直流供电：标称-48VDC，电压波动范围-38.4V ~ -57.6V DC

现场巡检（3）

- 服务器相关线路布局巡检，参考下表。
- 如需插拔线缆，务必在客户授权后方可进行。

序号	检查内容	检查结果	备注
1	线缆总布放		强电、弱电线应该分别从机柜两边走线，即业务、电源线分离。特别注意光纤是否有被小角度弯曲或强行拉伸。
2	电源线布放		整齐、美观、有序，尽量与机房内其余机柜布线风格保持一致，电源线禁止挽圈。
3	业务线布放		整齐、美观、有序，尽量与机房内其余机柜布线风格保持一致。
4	地线连接		服务器设备要按规定接地。
5	线缆标签标注、粘贴		标签字体清晰，标注明确且含义准确，粘贴牢固。
6	电源线插头检查		检查服务器的电源线是否牢固插入电源插座。
7	信号线插头检查		检查服务器、交换机等设备之间的信号、数据线连接是否牢固。

现场巡检（4）

- 服务器运行状态巡检主要包括检查指示灯和iBMC健康信息巡检。
- 服务器运行状态巡检，参考下表：

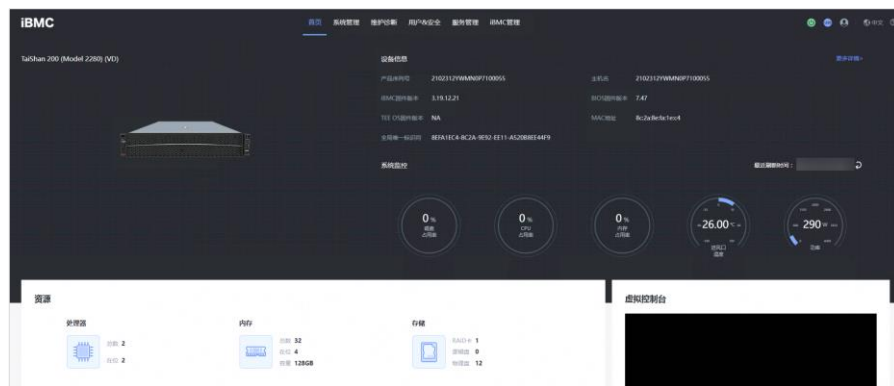
序号	检查方式	备注
1	服务器指示灯巡检	华为服务器前后面板分别提供UID按钮/指示灯、HEALTHY健康指示灯、网口指示灯、电源开关按钮指示灯等。通过观察指示灯状态可以初步诊断当前服务器的状态。指示灯状态说明参考服务器产品文档。
2	服务器iBMC健康信息巡检	如果客户现场有管理网络，则使用客户管理网络进行巡检，否则用网线连接iBMC管理网口和便携机网口。登录iBMC Web对健康状态进行查询，相关告警信息参考《iBMC告警参考》进行分析处理。

现场巡检报告（示例）

项目名称:xxx服务器设备巡检清单以及报修联络方式				
巡检人/联系方式			巡检时间	
巡检地址				
相关保障人员			现场接口人	
故障主接口人				
我司现场值守工程师				
主机/序列号/单板序列号				
设备所在位置				
巡检项	巡检内容	巡检检查项	巡检结果	备注
前面板健康指示灯	系统故障指示灯状态	红色常亮或红色闪烁表明异常,绿色表示工作正常	☐ 正常 ☐ 不正常	
前面板电源按钮/指示灯	系统电源指示灯状态	绿色常亮为正常运行	☐ 正常 ☐ 不正常	
前面板硬盘指示灯	硬盘状态指示灯状态	绿色常亮或闪烁为正常,黄色或不亮为异常	☐ 正常 ☐ 不正常	
后面板指示灯	交流电源指示灯(电源模块)	绿色常亮为正常运行,不亮为无电源输入	☐ 正常 ☐ 不正常	
风 扇	风扇运行状态	风扇很响或异响为异常,平稳运行正常	☐ 正常 ☐ 不正常	
网线以及其他线缆	线缆连接状态	网线及光纤线是否插好,接口指示灯是否亮	☐ 正常 ☐ 不正常	
iMana/iBMC健康信息	通过iMana/iBMC查看服务器健康状态和告警日志信息	查看服务器的健康状态日志信息、散热管理及电源管理的当前状态是否有任何告警	☐ 正常 ☐ 不正常	
MM健康信息	通过MM查看刀片服务器健康状态和告警日志信息	通过Web界面查看刀片服务器MM管理模块、服务器刀片、交换模块、电源模块、风扇模块的健康状态及告警信息	☐ 正常 ☐ 不正常	
其他	其他部件	如果硬件其他有异常请联系现场值守工程师	☐ 正常 ☐ 不正常	
备注	指示灯对应关系及iBMC、MM健康状态和告警信息的查询,请参考服务器产品文档(产品文档可在配套光盘中获得,或者通过登录 http://support.huawei.com/enterprise 进行下载)			

远程巡检

- 通过客户网络访问服务带外管理软件（iBMC或HMM），使用巡检工具进行服务器健康状态巡检。
- 下图为iBMC信息查看情况。



eComputing ToolKit工具

- eComputing ToolKit工具作为计算领域的服务工具，主要支持鲲鹏解决方案和昇腾解决方案工程交付和运维管理两大场景。



eComputing ToolKit硬件压测工具介绍

- 硬件压测功能是对服务器的CPU、内存、硬盘、NPU、Power进行性能测试。V5服务器或TaiShan 200服务器使用服务器自带的Smart Provisioning进行硬件压测。

硬件压测

1 基础设置信息 2 设置测试项 3 执行压测

1 在OBS开启自动安装时，SmartProvisioning V134以下版本将无法进行硬件压测，NPU压测需NPU固件版本不低于：7.1.0.3.220；请务必遵守硬件压测的次数和时间，防止因过度压测导致硬件损坏。

选择流程

创建新任务 查看已有任务

收集日志 是 否

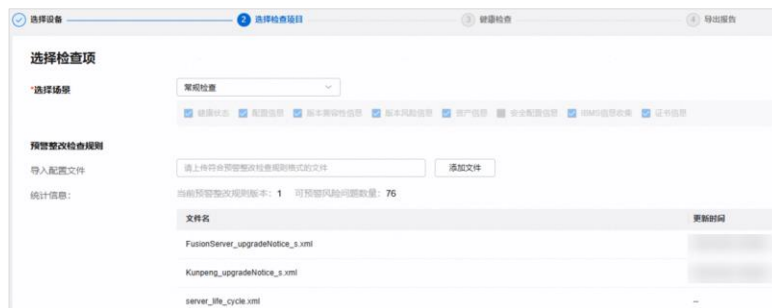
上下电模式 强制下电后上电

选择测试项

测试项	测试模式	说明
☐ CPU	☐ 快速 ☐ 全面	快速模式：执行CPU压力测试，适合短时间测试场景。 全面模式：执行CPU压力测试，适合长时间测试场景。
☐ 内存	☐ 快速 ☐ 全面	快速模式：执行最基础的内存压力测试，执行时间快，包括ECC、UCNAR重复错误的检测。 全面模式：执行最复杂的内存压力测试，执行时间慢，更着重发现内存的错误，包括ECC、UCNAR重复错误的检测。时间设置为0时表示单次海量读写内存，诊断时间取决于内存大小。
☐ 硬盘	☐ 快速 ☐ 全面	快速模式：利用硬盘SMART的读写特征，诊断时间短，适用于快速确认硬盘是否故障的结果。 全面模式：利用硬盘SMART的读写特征，诊断时间较长，测试内容和快速诊断一致，一般先执行快速诊断，诊断发现问题后再使用深度诊断。
☐ Power		仅支持鲲鹏服务器
☐ NPU	☐ 开测 ☐ 自定义	开测模式：开测前，默认选中基础测试，片上内存压测、电源EOP测试、带功耗测试和Score测试。 自定义模式：可以根据业务需求选择需要的NPU测试项，测试项内容包括基础测试、PRBS读写测试、片上内存压测、电源TOP测试、电源EOP测试、NPU NIC测试、带功耗测试和Score测试。

eComputing ToolKit健康检查工具介绍

- 健康检查工具是可定制策略的工具，对设备进行检查，并收集设备的详细信息。整个工具按照向导式的操作流程设计，导出的健康检查报告以图表的形式展现，具有较强的可读性。包含常规检查、资产收集、安全配置、硬件信息收集、IBMS信息收集、证书信息收集、DPU卡健康检查等场景。



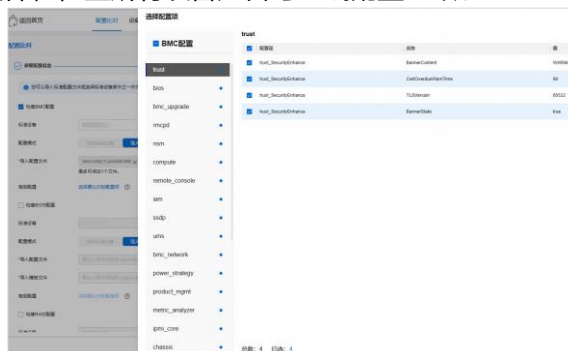
eComputing ToolKit日志收集工具介绍

- 日志收集支持硬件（BMC、IES、交换机）和操作系统日志的收集，具有批量收集、进度显示等特点。



eComputing ToolKit配置对比工具介绍

- 配置比对功能主要用于检查计算设备的BMC配置、BIOS配置、RAID配置是否与预期值一致，支持选择某一台设备作为基线设备，检查其余设备的配置是否与该设备一致，也支持导入基线配置文件，检查所有设备是否与基线配置一致。



eComputing ToolKit电源控制工具介绍

- 为用户提供服务器电源控制的能力，如重启BMC、系统下电、系统上电、强制系统先下电再上电等能力。

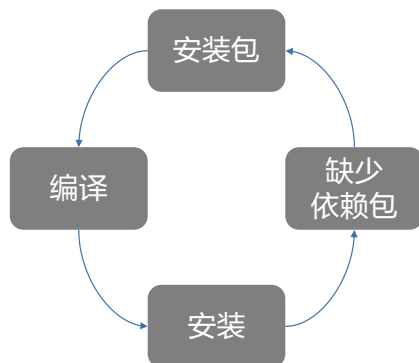


目录

1. 计算设备运维
2. **自动化运维Ansible**
 - Ansible简介
 - Ansible语法
 - Ansible高级操作
3. 固件升级

传统运维的缺陷

- 部署应用的时候需要预先安装各种依赖和运行环境，由于应用通常是一系列服务的组合，需要逐个安装。因此部署过程漫长而痛苦。



Ansible简介

- Ansible是新出现的自动化运维工具，基于Python开发，集合了众多运维工具（ puppet、chef、func、fabric ）的优点，实现了批量系统配置、批量程序部署、批量运行命令等功能。
- Ansible基于paramiko开发，采用模块化工作方式，本身没有批量部署的能力。真正具有批量部署的是Ansible所运行的模块，Ansible只是提供一种框架。Ansible不需要在远程主机上安装client/agent，因为它们是基于SSH来和远程主机通讯的。
- Ansible是目前自动化运维工具中大家认可度最高的，并且上手容易，学习简单，是每位运维工程师必须掌握的技能之一。

Ansible应用场景



Ansible管理对象

基础设施	网络	容器	云	DevOps工具	安全
• 物理设备 - 服务器 - 交换机 - 存储 • 虚拟化 • 操作系统 - Linux - Windows	• 配置网络自动化，保证关键业务访问 • 测试和评估网络状态 • 持续跟踪网络配置变化	• Docker • Kubernetes	• 私有云 - Openstack • 公有云	• 开发工具 - JIRA - Vagrant - Github • 集成测试工具 - Jenkins • 监控分析工具 - Slack	• 标准化安全任务 • 自动化安全流程 • 整合安全和IT产品

Ansible特点

- 高性能架构：
 - Ansible通过推送小型程序（ Ansible模块 ）到节点进行运行，并且在运行完成后删除。
- 使用SSH密钥进行认证：
 - 支持密码，但更常用的是SSH密钥的方式，通过认证密钥模块来控制对节点的访问。
- 使用便捷强大的自动化语言：
 - 通过playbook编排任务，易读、易上手。
- 丰富的扩展模块：
 - 支持通过模块、插件和API进行功能扩展。

Ansible基于推送模式

Agent模式（Puppet为例）

1. 管理员变更配置管理脚本
2. 将变更内容更新到配置管理中心服务
3. 服务器上的agent：周期计时器到期时唤醒
4. 服务器上的agent：连接到配置管理中心服务
5. 服务器上的agent：下载新的配置管理脚本
6. 服务器上的agent：本地执行新配置管理脚本

推送模式（Ansible）

1. 在Playbook中变更配置
2. 运行Playbook
3. 连接到服务器并执行改变服务器状态的模块

与有代理模式相比，无代理的推送模式可以直接控制变更在服务器上的更新时间，且减少了agent入侵对服务器的影响，远程服务器只需要有SSH和python程序，无需各种依赖

Ansible设计理念 - 模块化

- Ansible通过大量的内置模块，使得管理员可以在远程服务器上执行各类操作，如：
 - 安装软件
 - 启动服务
 - 管理文件等
- Ansible的模块是声明式的，模块声明它可以用于描述你希望服务器处于的状态。如：
 - 希望的目标状态是存在一个账号，名字是deploy，所属组是web通过用户模块的实现就是user：
name=deploy group=web。

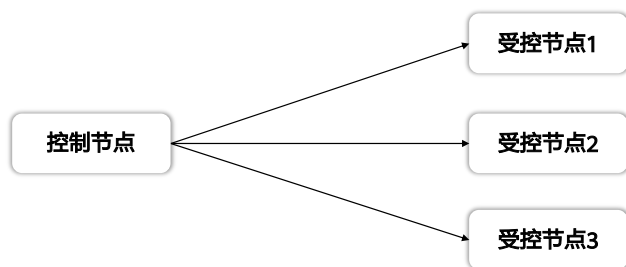
Ansible设计理念 - 幂等性

- 数学上，如果一个函数多次运算，得到的结果一致，则此函数具有幂等（ idempotent ）。
 - 工程上并非如此严谨，一般认为如果某项操作执行多次，得到的结果一致，则该操作具有幂等性。
- Ansible的大部分模块具有幂等性，它意味着多次执行Ansible任务的结果一致，重复操作是安全的，这个特性对运维团队非常重要。
 - Ansible的使用时尽量指定服务器最终到达的状态，而非进行什么什么操作。
 - 面向结果，而不是面向过程。

- 幂等性原本是数学上的概念，即使公式： $f(x)=f(f(x))$ 能够成立的数学性质。用在编程领域，则意为对同一个系统，使用同样的条件，一次请求和重复的多次请求对系统资源的影响是一致的。

Ansible硬件架构

- Ansible的基础结构分为控制节点和受控节点。
- 默认情况下，Ansible使用SSH协议在控制节点和受控节点之间进行通信。



Control（控制）节点

- Ansible安装在控制节点。
- 在控制节点上可以运行命令以及playbook。
- 可以将任何安装了Python的节点设置为控制节点，包括笔记本电脑、远程桌面或者是服务器。
- 不支持使用windows主机作为控制节点。
- Ansible支持多个控制节点。

Managed（受控）节点

- 受控节点指所有受控制节点管辖的节点。
- 受控节点通常也会被称为“hosts”。
- 受控节点上无需安装代理等服务。
- 节点可以是服务器，也可以是其他硬件设备，如网络设备，甚至是虚拟节点，例如：
 - 容器
 - SDN、无线和其他网络控制器

Ansible管理单元

- Ansible自身有许多不同的管理单元来实现既定功能，包括：
 - Inventory：节点管理
 - Modules：Ansible执行的代码单元
 - Tasks：Ansible执行的单元动作
 - Playbooks：Ansible编排文件

Inventory

- Inventory翻译为中文意为“清单”，它本质上就是一份清单（受控节点的清单）。
- Inventory直观呈现是一个文件，类似windows的.ini文件，上面保存着各个主机的IP地址、端口号等必须的信息。
- Inventory默认文件路径在/etc/ansible/hosts中。



如何让所有蓝色服务器成为受控主机？
想要将操作下发到红色主机该如何实现？

Modules



=



+



+



Ansible任务：
完成软件部署安装

步骤一：
下载软件

步骤二：
安装软件

步骤三：
配置软件

- 一个完整的Ansible任务可以拆分为一系列子任务的集合，这些子任务是高度模块化的，只要稍作参数改动就可被放到各种Ansible任务里。这使得一个完整的Ansible任务就像一个积木拼起来的玩具，这个“积木”就是模块。
- Module是Ansible执行代码单元，创建一个Ansible任务可以用一个或多个模块，我们日常用到的模块大多是内建模块。

Tasks

- Tasks是Ansible的一个单位动作，有两种使用方式：
 - Playbooks中包含Tasks，在基本的使用中，一个模块执行的动作通常是一个Task；
 - 直接使用Ad-hoc命令执行Tasks。
- 例如：希望安装一个Linux软件时，可以使用yum模块，这就是一个Task。

目录

1. 计算设备运维
2. **自动化运维Ansible**
 - Ansible简介
 - Ansible语法
 - Ansible高级操作
3. 固件升级

什么是Ad-hoc命令

- Ansible安装完成后，默认在/usr/bin目录中有一个名为ansible的文件，它是Ansible的命令行工具。而Ad-hoc命令就是这个命令行工具可以运行的一个单独的任务。
- Ad-Hoc命令是Ansible中用于执行临时任务的命令，不需要保存或管理。这种命令通常用于快速完成一些简单且一次性的操作，而不需要编写和维护Playbook文件。
- 具体来说，Ad-Hoc命令通过在命令行中直接输入来执行，并且依赖于Ansible提供的各种模块来实现不同的功能。例如，可以使用ansible <模式> -m <模块名> -a "<参数>"的形式来执行一个特定的命令。这些命令可以包括文件传输、系统状态检查、进程管理等。

- Ad-Hoc命令与Playbook的主要区别在于前者更侧重于解决简单的、临时性的任务，类似于Linux下的shell命令；而后者则适用于处理更复杂和重复性的任务。因此，在学习Ansible时，Ad-Hoc命令是一个很好的起点，可以帮助用户理解Ansible的基本用法和能力。

ad-hoc语法（1）

- Ansible ad-hoc命令使用/usr/bin/ansible命令行工具来自动化一个或多个受控节点上的单个任务。临时命令既快速又简单，但不可重用。其基本语法如下：

```
$ ansible [pattern] -m [module] -a "[module options]"
```

- Module指Ansible的模块。
- Module options指按照该模块要求填写的参数值。
- Pattern：
 - Pattern指定ad-hoc命令运行的对象，它指定了运行命令的节点（们）或者组（包含多个节点）。
 - Pattern指定的名称是存在在Inventory文件中的，Inventory指定了有哪些主机是受控主机可以操作，而Pattern指定了ad-hoc命令具体运行在其中哪个主机上。
 - Pattern除了在ad-hoc命令中使用以外，在playbook中也需要使用。

ad-hoc命令常用模块 - 默认模块command

- 在ad-hoc的语法中，通常使用-m参数来指定使用哪个模块，当不使用这个参数时，默认调用command模块，类似在主机的命令行中运行一条指令。

- 例如重启的ad-hoc命令：

```
$ ansible webservers -a "/sbin/reboot"
```

- 相当于在主机中运行/sbin/reboot命令。

Command模块不支持扩展的shell语句，例如shell变量或者管道符，如果希望使用这些语句，可以使用shell模块来替代command模块。

ad-hoc命令常用模块 - 文件管理

- 传输文件可以使用copy模块，其中src是文件原来的目录，dest是目标目录。

```
$ ansible webservers -m copy -a "src=/etc/hosts dest=/tmp/hosts"
```

- 使用copy模块，可以批量地从ansible server上向主机下发文件。

- 修改文件的权限和所有权可以使用file模块。

```
$ ansible webservers -m file -a "dest=/srv/foo/a.txt mode=777"
```

- 使用file模块将a.txt文件权限配置为所有用户可读写执行。

ad-hoc命令常用模块 - 包管理

- 包管理模块，包括yum和apt等，此处以yum为例。
- 通常使用yum install来进行安装，yum remove卸载包，但Ansible的逻辑是面向结果而非过程，因此在业务逻辑上有所区别。
- 将包最终状态变成已安装状态（类似包安装）。

```
$ ansible webservers -m yum -a "name=tomcat state=present"
```

- 将包最终状态变为未安装状态（类似删除包）。

```
$ ansible webservers -m yum -a "name=tomcat state=absent"
```

ad-hoc命令常用模块 - 管理用户和组

- 使用ansible创建用户。（确保系统中存在该用户）

```
$ ansible all -m user -a "name=foo password=<crypted password here>"
```

- 删除某用户。（确保系统中不存在该用户）

```
$ ansible all -m user -a "name=foo state=absent"
```


ad-hoc命令常用模块 - 管理服务

- 将服务的运行状态设为正在运行。

```
$ ansible webservers -m service -a "name=tomcat state=started"
```

- 将服务的运行状态设为已关闭。

```
$ ansible webservers -m service -a "name=tomcat state=stopped"
```

- 重启服务。

```
$ ansible webservers -m service -a "name=tomcat state=restarted"
```

目录

1. 计算设备运维
2. **自动化运维Ansible**
 - Ansible简介
 - Ansible语法
 - Ansible高级操作
3. 固件升级

Playbook简介

- Playbook相当于一个Tasks的列表，其中的Tasks通常是有序的。
- 也可以重复执行Playbook，结果应该是一致的（幂等性）。
- Playbooks使用YAML格式语法编写，易读、易写、易懂。
- Playbook与ad-hoc相比，是一种完全不同的运用Ansible的方式，是非常之强大的。简单来说，playbooks是一种简单的配置管理系统与多机器部署系统的基础与现有的其他系统有不同之处，且非常适合于复杂应用的部署。
- Playbooks的格式是YAML，语法做到最小化，意在避免Playbooks成为一种编程语言或是脚本，但它也并不是一个配置模型或过程的模型。

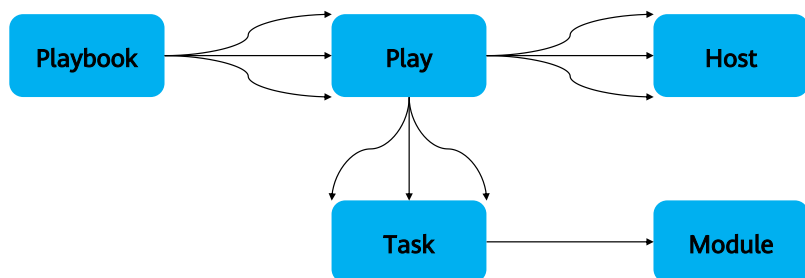
```
---
- hosts: webservers
  vars:
    http_port: 80
    max_clients: 200
  remote_user: root
  tasks:
    - name: ensure apache is at the latest version
      yum: pkg=httpd state=latest
    - name: write the apache config file
      template: src=/srv/httpd.j2
      dest=/etc/httpd.conf
    notify:
      - restart apache
    - name: ensure apache is running
      service: name=httpd state=started
  handlers:
    - name: restart apache
      service: name=httpd state=restarted
```

YAML文件中的核心组成部分

- hosts：受控主机列表。
- tasks：任务集。
- Variables：内置变量或自定义变量在playbook中调用。
- Templates：模板，即使用模板语法的文件，比如配置文件等。
- Handlers和notity结合使用：由特定条件触发的操作，满足条件方才执行，否则不执行。
- tags：标签，指定某条任务执行，用于选择运行playbook中的部分代码。

Playbook的结构

- 一个完整的Playbook包含一个或多个Play，每个Play包含一个或多个Host以及一个或多个Task，其中每个Task都使用了一个Module。



一个完整的Playbook (1)

```
--- ①
- hosts: webservers ②
  vars: ③
    http_port: 80
    max_clients: 200
  remote_user: root
  tasks: ④
    - name: ensure apache is at the latest version
      yum: pkg=httpd state=latest
.....
```

- 下面从一个入门的Playbook文件来看一下这写元素是如何组合的：

- ① 三个短横表示开始。
- ② 指定运行的主机组，短横开始表示列表。
- ③ vars，一系列变量与值，可选项，在本文件中指定了端口号和客户端上线两个参数。
- ④ 指定在hosts上使用root账号运行任务。

一个完整的Playbook (2)

```
.....
tasks: ⑤
- name: ensure apache is at the latest
version
  yum: pkg=httpd state=latest ⑥
- name: write the apache config file
  template: src=/srv/httpd.j2
dest=/etc/httpd.conf
  notify: ⑦
  - restart apache
- name: ensure apache is running
  service: name=httpd state=started
handlers:
- name: restart apache ⑧
  service: name=httpd state=restarted
```

- ⑤ tasks缩进与之前的hosts, vars等一致, 之后直到handlers之前的内容都是tasks。
- ⑥ 第一个task, 完成yum模块的使用, 包括了模块使用中一些参数的配置。
- ⑦ 第二和第三个tasks, template和service。
- ⑧ handlers, 一种触发式的任务, 只有当前文的notify触发了, handler才会启动。

运行Playbook

- Playbook在编写完成后是一个yaml格式的文件，使用ansible-playbook命令可以运行该任务，并且显示任务运行的结果。

```
[root@ansible-server playbookdir]# ansible-playbook command.yml
PLAY [webservers] *****TASK
[Gathering Facts] *****
ok: [121.36.16.50]
TASK [say hello] *****changed:
[121.36.16.50]
PLAY RECAP *****121.36.16.50
: ok=2  changed=1  unreachable=0  failed=0  skipped=0  rescued=0  ignored=0
```


Playbook的命令模块

- 与在ad-hoc中使用Command模块不同，Playbook中不能省略模块名称，典型的使用方式如右侧所示。
- Command常用的参数包括：
 - Chdir：改变命令运行目录
 - Creates：执行判断，指定文件存在命令不执行
 - Removes：执行判断，指定文件存在命令执行
- 运行完右侧yaml文件后，可以在目的主机的/opt目录找到“hello world”文件。

```
---  
- hosts: webservers  
  tasks:  
    - name: say hello  
      command: touch "hello  
world" chdir=/opt
```

目录

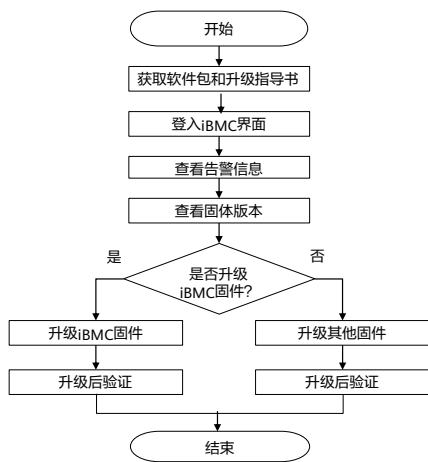
1. 计算设备运维
2. 自动化运维Ansible
- 3. 固件升级**

固件升级

- 在满足客户新需求或出现异常时，可能需要升级固件，对于iBMC/BIOS/HMM在升级固件时提供图形界面和命令行两种升级方式。
- 对于批量升级时建议选用批量升级工具eComputing Toolkit，减少升级时间。
- 服务器固件（iBMC/BIOS/HMM）升级包获取方式：
 - 登录华为企业版技术支持官网，依次选择“产品和解决方案支持 > 软件下载”，进入对应产品软件版本路径后获取。
 - 服务器固件iBMC/BIOS通过图形界面升级，需要客户端登录iBMC Web系统。

- 为确保升级成功，升级过程中不允许断电、不允许重新启动iBMC系统。
- 升级iBMC固件需要重新启动iBMC系统使功能生效，但不需要重新启动服务器，服务器上运行的业务不会受到影响。
- 升级LCD固件无需重新启动服务器；升级以下固件需要重新启动服务器才能生效：
 - BIOS固件；
 - 主板CPLD固件；
 - 硬盘背板CPLD固件；
 - 热插拔PCIe Riser卡CPLD固件。
- 升级以上固件前，建议先关闭服务器上运行的业务，避免服务器重新启动时中断业务。

单台服务器升级流程



查看固件版本：

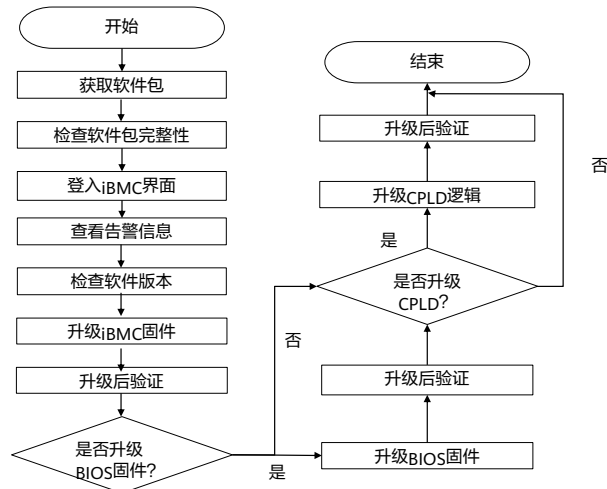
- 在上方标题栏中选择“系统管理”。
- 在左侧导航树中，选择“固件升级”。右侧显示“固件升级”界面。
- 在“固件升级”界面中，查看iBMC、BIOS和CPLD的版本信息。



TaiShan 2280软件升级示例（1）

项目	影响说明
iBMC	升级过程禁止进行其他操作维护动作。 iBMC软件升级后需要重新启动iBMC系统。可以选择立即重启或稍后手动重启。
BIOS	BIOS升级后，需要重新启动服务器才能使新版本的BIOS生效。重启服务器将会影响业务运行。 如果采用下电升级，需要关闭操作系统，操作系统将不可用。
CPLD	升级后，需要重新启动服务器才能使新版本的CPLD生效。重启服务器将会影响业务运行。 如果采用下电升级，需要关闭操作系统，操作系统将不可用。

TaiShan 2280软件升级示例（2）



- 整个软件升级流程包括：升级前准备、iBMC软件升级、BIOS软件升级、CPLD软件升级。
- 建议按照顺序进行软件版本升级，即如需升级iBMC、BIOS、CPLD版本，按照流程图先升级iBMC，后升级BIOS，最后升级CPLD。

升级前的准备（1）

序号	项目	检查标准
1	检查软件版本	1. 查询并记录当前系统中服务器iBMC和BIOS、CPLD的软件版本，具体操作请参考检查服务器节点软件版本。 2. 确认目标版本高于当前版本。
2	检查系统状态	检查iBMC系统： 1. 未出现告警，可直接升级。具体操作参考查看服务器节点告警信息。 2. 出现告警时，请与技术支持确认告警情况，然后再决定下一步动作。

升级前的准备（2）

- 需要登录华为企业版技术支持官网，依次选择“软件下载 > 鲲鹏计算”，进入对应产品软件版本路径后获取升级软件。
- 软件文档列表如下：

名称	作用	解压后需要的文件
iBMC	iBMC固件升级包	image.hpm
BIOS	BIOS固件升级包	biosimage.hpm
CPLD	CPLD固件升级包	cpldimage.hpm

TaiShan 2280软件升级示例 - iBMC升级（1）

- 升级镜像文件：
 - 重启完成后，重新登录iBMC界面（登录操作请参见登录iBMC Web界面）。
 - 重复执行前面步骤，升级iBMC系统的原主用镜像。
- 说明：
 - iBMC升级不会改变iBMC系统的用户名和密码。
 - iBMC软件存在主备2个镜像，每次升级只能升级1个镜像，所以iBMC升级必须执行2次升级操作。
 - 升级的顺序是先对备用镜像进行升级，备用镜像升级完成后会自动重启iBMC主用镜像，同时iBMC主备镜像会自动倒换，无需点击iBMC页面上的“主备分区镜像倒换”按钮，待iBMC主备镜像倒换完成后，再对已切换为备用镜像的原主用镜像进行升级。

TaiShan 2280软件升级示例 - iBMC升级（2）

- 升级后检查：
 - iBMC界面能否登录：能够通过浏览器正常登录iBMC界面。
 - iBMC版本是否更新：iBMC版本为最新版本。
- 验证步骤：
 - 重新登录iBMC界面。
 - 查询iBMC版本。
- 异常处理：
 - 如果iBMC升级后无法登录iBMC界面，但网络连接正常，请联系华为技术支持解决。
 - 如果iBMC升级后不是目标版本或者弹出升级失败对话框，请对iBMC软件版本重新进行升级。如果依然升级失败，请记录故障现象和操作步骤，并联系华为技术支持解决。

- 验证步骤：
 - 重新登录iBMC界面。具体操作请参见登录iBMC Web界面。
 - 查询iBMC版本。
 - 具体操作请参见检查服务器节点软件版本。
 - 确认升级后的iBMC版本号为最新版本。

TaiShan 2280软件升级示例 - BIOS升级（1）

- 注意事项：
 - BIOS软件支持上电升级和下电升级两种情况，如果系统提示“请先业务侧下电，再启动BIOS升级”，请先将服务器下电，再进行升级操作。
 - BIOS软件升级过程中：禁止对单板执行上电、下电、复位、OS重启等操作。
 - 设备重启后BIOS才能够生效。

TaiShan 2280软件升级示例 - BIOS升级（2）

- 升级后检查：
 - BIOS运行状态：服务器BIOS可以正常启动。
 - BIOS版本信息：BIOS软件版本为升级后版本。
- 验证步骤：
 - 升级完BIOS后，重新启动服务器。
 - 重启后，查询BIOS版本。具体操作请参见检查服务器节点软件版本。
- 异常处理：
 - 如果BIOS升级后，服务器无法正常启动，请联系华为技术支持解决。
 - 如果BIOS升级后不是目标版本或者弹出升级失败对话框，则需要对BIOS软件版本重新进行升级。如果依然升级失败，请记录故障现象和操作步骤，并联系华为技术支持解决。

TaiShan 2280软件升级示例 - CPLD升级（1）

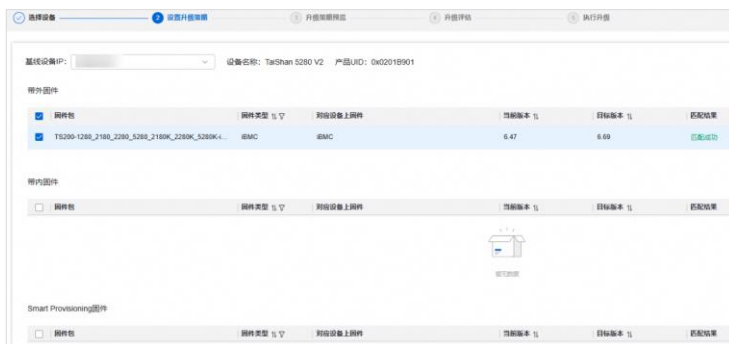
- 注意事项：
 - CPLD软件支持上电升级和下电升级两种情况。
 - CPLD软件升级过程中，禁止对单板执行上电、下电、复位、OS重启等操作。
 - CPLD软件升级后，需要等整个设备重启后才能生效。

TaiShan 2280软件升级示例 - CPLD升级（2）

- 升级后检查：
 - CPLD运行状态：服务器是否可以正常启动。
 - CPLD版本信息：CPLD软件版本为升级后版本。
- 验证步骤：
 - 升级完CPLD后，重新启动服务器。
 - 重启后，查询CPLD版本。具体操作请参见检查服务器节点软件版本。
- 异常处理：
 - 如果CPLD升级后，服务器正常无法启动，请联系华为技术支持解决。
 - 如果CPLD升级后不是目标版本或者弹出升级失败对话框，则需要对CPLD软件版本重新进行升级。如果依然升级失败，请记录故障现象和操作步骤，并联系华为技术支持解决。

eComputing ToolKit多设备批量固件升级工具介绍

- 固件升级工具支持对iBMC、BIOS、CPLD、SP（全称Smart Provisioning）、SP插件包、TEEOS、MCU、VRD、CSR、网卡、NPU、FPGA、HDU、硬盘、灵衢交换机CC软件包、灵衢交换机PAT补丁包等固件及软件包进行升级操作。



思考题

1. （多选题）ad-hoc命令常用的模块有哪些？

- A. command模块
- B. shell模块
- C. user模块
- D. yum模块

• 答案：

- ▣ ABCD

本章总结

- 本章讲述了运维的基础概念、华为eComputing Toolkit运维工具，并介绍了开源常用的Ansible自动化运维工具，以及服务器固件升级相关内容。

学习推荐

- 鲲鹏服务器维护宝典:

<https://support.huawei.com/enterprise/zh/doc/EDOC1100197843/426cffd9>

Thank you.

把数字世界带入每个人、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界。

Bring digital to every person, home, and
organization for a fully connected,
intelligent world.

版权所有 © 华为技术有限公司 2026。

保留一切权利。

未经华为事先书面许可，任何人不得对本资料进行复制、修改、
整合、改编、翻译，也不得将本资料或其任何部分或基于本资
料的衍生作品提供、出售、转让、再许可给任何人用于华为
许可以外的任何其他用途。

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2025.

All Rights Reserved.

Without prior written permission of Huawei, no one is
allowed to reproduce, modify, integrate, adapt, translate
this Document, or provide, sell, transfer, sublicense this
Document or any part of this Document or its derivative to
any third party for any other purpose otherwise permitted
by Huawei.



计算设备故障处理



前言

- 本章主要讲述服务器的告警处理、故障诊断以及服务器部件故障相关内容。

目标

- 学完本课程后，您将能够：
 - 掌握华为服务器的故障查看及处理方法；
 - 理解并运用一定的故障诊断方法；
 - 掌握华为服务器的服务器部件故障处理方法。

目录

1. 告警处理
2. 故障诊断
3. 服务器部件故障

告警信息简介

- 当设备发生故障或某些原因导致系统处于不正常的工作状态时，系统能够根据不同类型及不同模块出现的故障产生告警信息，同时生成日志信息。若配置了网管系统，则该告警信息会通过SNMP（Simple Network Management Protocol，简单网络管理协议）协议向网管系统发送。设备能检测设备所处的环境，若超出设备正常工作的环境要求，会发出相应的告警信息。
- 告警按照对系统的影响，又可分为事件和故障：
 - 事件：是指系统日常运行时记录下来的关键事件，对系统影响较小。可无需立即进行处理，在不影响业务的情况下，可于业务量较少的时段进行定位处理。
 - 故障：是指可能影响系统的正常运行的告警。一般故障需要立即处理，否则会造成业务中断产生一定的损失成本。

查看告警的方法

- 通过显示终端，进入iBMC管理软件的命令行，执行ipmcget -d healthevents命令查询当前的告警信息。
- 通过网管软件查看告警信息。
- 通过iBMC的Web管理界面查看告警信息。

轻微告警

轻微告警不会对系统产生大的影响，需要尽快采取相应的措施，防止故障升级。

严重告警

严重告警将会对系统产生较大的影响，有可能中断部分系统的正常运行，导致业务中断。

紧急告警

紧急告警可能会使单板下电，系统中断。需要马上采取相应的措施进行处理。

- 事件状态

- 一般情况下告警事件的状态包含产生（ Asserted ）和恢复（ Deasserted ），且两者成对出现。在处理告警的过程中，只需要关注事件状态为产生（ Asserted ）的告警。当告警恢复时，事件描述记录内容与告警产生时的内容相同。

告警内容说明

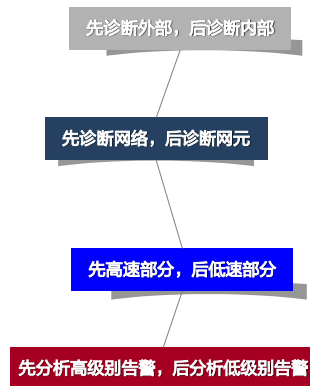
告警格式	告警信息说明
在WebUI中，iBMC的告警信息包括如下参数： • 级别 • 主体类型 • 事件描述 • 产生时间 • 事件码 • 处理建议 在CLI中，告警信息包含“产生时间”、“级别”、“事件码”、“状态”、“事件描述”。	告警解释 • 告警描述 • 告警代表的意义 • 产生告警的主体 • 告警部件的BOM编码及SN 告警属性 • 告警ID • 告警级别 • 可自动清除 告警参数 • 说明告警信息中各个字段的含义 对系统的影响 • 说明产生此告警后，对系统所产生的影响 可能的原因 • 明导致此告警产生的原因。 处理步骤 • 当出现此告警时，应该采取的解决方法和步骤

目录

1. 告警处理
- 2. 故障诊断**
3. 服务器部件故障

故障诊断基本原则

- 所有操作务必获得客户书面授权。
- 所有操作需保证业务数据不会丢失或已经备份。

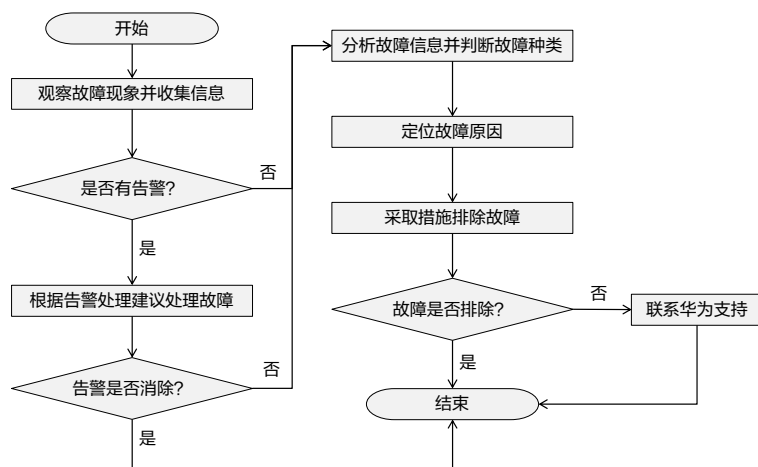


- 所有操作务必获得客户书面授权；所有操作需保证业务数据不会丢失或已经备份。
- 在进行故障诊断时，请遵循以下基本原则：
 - 先诊断外部，后诊断内部。诊断故障时，应先排除外部的可能因素，如电源中断、对接设备故障等。
 - 先诊断网络，后诊断网元。
 - 根据网络拓扑图，分析网络环境是否正常、互连设备是否发生故障，尽可能准确定位出是网络中哪个网元发生故障。
 - 先高速部分，后低速部分。
 - 从告警信号流中可以看出，高速信号的告警经常会引起低速信号的告警。因此在故障诊断时，应先排除高速部分的故障。
 - 先分析高级别告警，后分析低级别告警。
 - 分析告警时，首先分析高级别的告警，如紧急告警、严重告警，然后再分析低级别的告警，如轻微告警。

故障诊断方法

- 服务器及节点模块的运行健康状态，可通过观察其指示灯状态进行初步诊断。
- 管理软件界面集中设备管理功能、友好的图文界面、安全的信息传输和丰富的增值工具。
- 客户通过MM模块提供的命令行或Web界面，可以对TaiShan 200（型号2280）服务器当前的状态进行监控和管理。
- 可以从华为技术有限公司的技术支持网站获取案例资料，帮助客户分析和处理故障。

故障诊断流程



- 故障处理是指利用合理的方法，逐步找出故障原因并解决。其指导思想是将由故障可能的原因所构成的一个大集合缩减（或隔离）成若干个小的子集，使问题的复杂度迅速下降，最终找到问题的根本原因，并采取合适的措施进行排除。

故障信息收集

- 服务器发生故障时，需要收集以下几类信息进行故障诊断：
 - 收集基本信息（包括客户基本信息、设备型号及配置、故障现象等信息）；
 - 收集硬件日志信息；
 - 收集操作系统日志信息；
 - 收集交换模块日志信息（适用于刀片服务器）；
 - 收集HBA卡日志；
 - 收集其它日志信息。

收集基本信息

- 客户请求服务之前，应做好相关基本信息收集。
- 服务器故障病历卡（示例）：

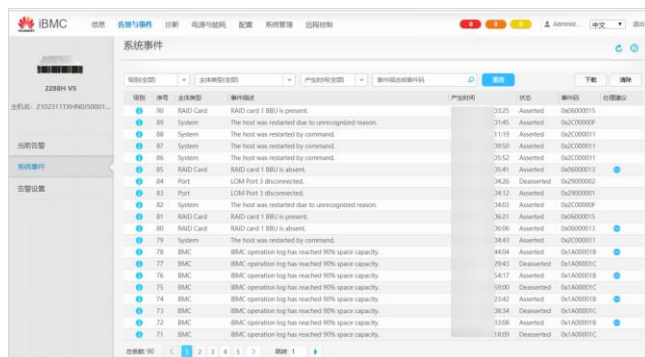
服务器基本故障信息			
问题单号		问题接收时间	xxxx年xx月xx日xx时xx分xx秒
客户名称	xxx客户	地址	xx省xx市xx县/镇/街道
客户姓名	张三	联系方式	电话/邮箱
设备型号	如TaiShan 200 (型号2280)	设备序列号	2102310XXXXX
设备硬件配置	如CPU、内存、RAID、网卡型号等	OS及业务软件版本	
故障发生时间	xxxx年xx月xx日xx时xx分xx秒		
故障现象	如安装系统过程自动重启。		
故障前的动作	如修改BIOS硬件狗。		
故障后已采取的动作及结果	如重新插拔电源线后，故障依旧 更换光盘，故障依旧		

收集硬件日志信息

- 硬件日志信息收集有以下两种方式：
 - 如只需收集硬件信息，可通过iBMC“一键收集信息”功能。
 - 如需同时收集硬件、操作系统日志信息，请使用eComputing Toolkit工具收集信息。
 - 路径参考：技术支持>软件下载>智能管理软件>eComputing Toolkit。

通过iBMC Web界面收集故障信息

- 在标题栏中选择“告警与事件 > 系统事件”。
- 打开系统事件日志界面，通过该界面可获取系统事件的工作日志信息。



ID	类型	事件描述	产生时间	状态	操作
80	RAID Card	RAID card 1 BBU is present	15:25	Asserthd	0x00000115
89	System	The host was restarted due to unrecognized reason.	21:45	Asserthd	0x2C00000F
88	System	The host was restarted by command.	11:19	Asserthd	0x2C000011
87	System	The host was restarted by command.	20:50	Asserthd	0x2C000011
86	System	The host was restarted by command.	25:52	Asserthd	0x2C000011
85	RAID Card	RAID card 1 BBU is absent.	25:41	Asserthd	0x06000113
84	Port	LOM Port 3 disconnected.	24:26	Deassertd	0x29000002
83	Port	LOM Port 3 disconnected.	24:12	Asserthd	0x29000001
82	System	The host was restarted due to unrecognized reason.	14:03	Asserthd	0x2C00000F
81	RAID Card	RAID card 1 BBU is present.	26:21	Asserthd	0x06000115
80	RAID Card	RAID card 1 BBU is absent.	24:26	Asserthd	0x06000113
79	System	The host was restarted by command.	24:43	Asserthd	0x2C000011
78	BMC	BMC operation log has reached 90% space capacity.	14:04	Asserthd	0x1A000018
77	BMC	BMC operation log has reached 90% space capacity.	25:43	Deassertd	0x1A00001C
76	BMC	BMC operation log has reached 90% space capacity.	24:17	Asserthd	0x1A000018
75	BMC	BMC operation log has reached 90% space capacity.	19:30	Deassertd	0x1A00001C
74	BMC	BMC operation log has reached 90% space capacity.	23:42	Asserthd	0x1A000018
73	BMC	BMC operation log has reached 90% space capacity.	26:34	Deassertd	0x1A00001C
72	BMC	BMC operation log has reached 90% space capacity.	21:28	Asserthd	0x1A000018
71	BMC	BMC operation log has reached 90% space capacity.	18:09	Deassertd	0x1A00001C

通过iBMC命令功能收集故障信息

- 命令功能
 - diaginfo命令用来一键收集信息，包括iBMC相关的配置信息、版本信息和日志等。
- 使用指南
 - 执行此命令后，可以使用文件传输工具（支持SFTP协议，例如WinSCP）将保存在“/tmp”路径下的一键收集信息文件（例如“dump_info.tar.gz”）下载到客户端（例如PC）。
- 使用实例
 - 一键收集信息。

```
iBMC:/->ipmcget -d diaginfo  
Download diagnose info to /tmp/ successfully.
```

收集操作系统日志信息

操作系统	收集方法
Linux	使用eComputing Toolkit工具收集RHEL、SLES、CentOS、Ubuntu、OpenEuler、EulerOS等日志信息。
FreeBSD	使用SSH工具登录操作系统命令行，拷贝“/var/log/”路径下的所有文件。 优先收集“/var/log/messages”和“/var/log/”路径下以messages为前缀命名的文件（例如messages.0）。
Solaris	使用SSH工具登录操作系统命令行，拷贝“/var/log/”以及“/var/adm/”路径下的所有文件。 优先收集“/var/log/syslog”和“/var/log/”路径下以syslog为前缀命名的文件（例如syslog.0），以及“/var/adm/messages”和“/var/adm/”路径下以messages为前缀命名的文件（例如messages.0）。

- FusionDirector:

- 导出日志支持一键式将FusionDirector的操作日志、系统日志、安全日志、运行日志、第三方组件日志进行收集，并从FusionDirector上导出到本地。
- 日志搜索支持根据日志类型、级别、操作结果、操作时间、操作用户进行日志过滤，快速锁定到客户关心的日志。
- 日志配置支持配置对接的syslog服务器地址和收集的日志类型，可以将日志实时上传到第三方日志管理服务器上，方便客户运维。

- eService:

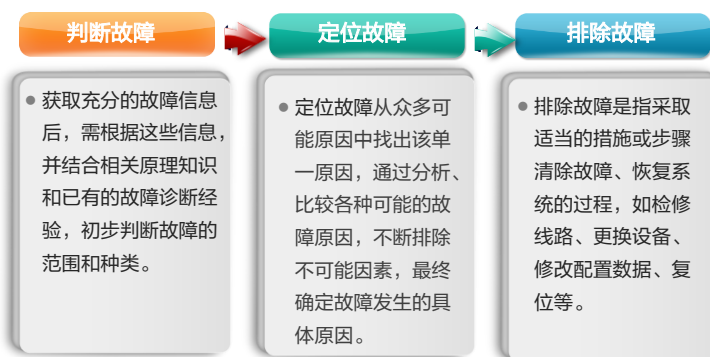
- 远程协助：远程日志收集分析，实现故障的远程协助定位能力。
- 收集信息前，请先获取客户书面授权，再执行操作。
- InfoCollect收集的日志可能包含客户的敏感信息，如bash_history，使用工具前请先获取客户书面授权，再进行相关维护工作。
- 路径参考：技术支持>产品文档>服务器>智能管理软件>服务器管理>FusionServer Tools>操作维护>用户指南。

收集HBA卡日志信息

- 当网卡出现故障时，请收集HBA卡日志信息。
- HBA卡日志收集不会影响业务。

操作系统	收集内容
Windows	收集帮助技术支持诊断和故障诊断的系统信息
Linux	收集帮助诊断光纤通道和iSCSI HBA问题的信息
VMware	收集VMware系统日志（包含Qlogic HBA日志）

故障定位方法



根据iBMC告警信息诊断故障

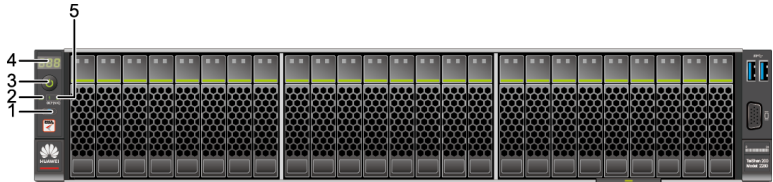
- 根据服务器的iBMC检查告警并进行诊断。请在各服务告警处理手册中检索告警码，查询对应的告警处理方法，具体请参见各服务器告警处理手册。
- 获取方式如下：技术支持 > 文档中心 > 服务器 > 故障处理 > 故障处理
- 可以通过以下几种方式查看告警信息：
 - 通过显示终端，进入iBMC管理软件的命令行，执行ipmcget -d healthevents命令查询当前的告警信息。
 - 通过网管软件查看告警信息。
 - 通过iBMC的Web管理界面查看告警信息。

使用诊断工具诊断故障

场景	工具名称	功能
单机场景	Smart Provisioning	• 安装操作系统 • 配置RAID • 升级固件 • 配置导入导出 • 硬件诊断 • 收集日志
批量场景	eComputing Toolkit	• 固件升级 • 硬件压测 • 一键开局 • 智算软件部署 • 批量分发 • 健康检查 • 电源控制 • 配置对比 • 日志收集

通过指示灯定位故障（1）

- 通过指示灯收集故障信息：
 - TaiShan 200服务器提供面板指示灯和网口指示灯，通过观察指示灯可以初步诊断当前服务器的状态（参考iBMC告警处理手册）。



编号	名称	编号	名称
1	UID按钮/指示灯	4	故障诊断数码管
2	健康状态指示灯	5	灵活IO卡在位指示灯（1，2）
3	电源开关按钮/指示灯		

通过指示灯定位故障（2）

模块指示灯	指示灯状态	含义	处理步骤及说明
健康状态指示灯 (HLY)	绿色常亮	表示设备运转正常	无需任何操作。
	红色闪烁	表示有异常告警	1.登录iBMC Web界面查看具体告警事件。 2.(可选)查看前面板“故障诊断数码”确认具体故障码。
电源开关指示灯 (PWR)	绿色常亮	表示设备已正常上电	无需任何操作。
	黄色闪烁	表示iBMC管理系统正在启动或电源开关按钮被锁定	
	黄色常亮	表示设备处于待上电状态	按PWR键开机,如果无法正常开机,请登录iBMC Web界面排查相关告警。
	灭	表示设备未上电	1.如果iBMC可登录,请查看是否有告警。 2.如果iBMC无法登录,请检查设备是否正常供电或电源模块是否故障。
UID指示灯	蓝色常亮	表示服务器被定位	说明: UID按钮/指示灯可方便地定位待操作的服务器,通过手动按UID按钮或者通过iBMC命令远程控制使灯灭或灯亮。 长按定位按钮4~6秒钟,复位服务器的iBMC管理系统。
	灭	表示服务器未被定位或未上电	

通过指示灯定位故障（3）

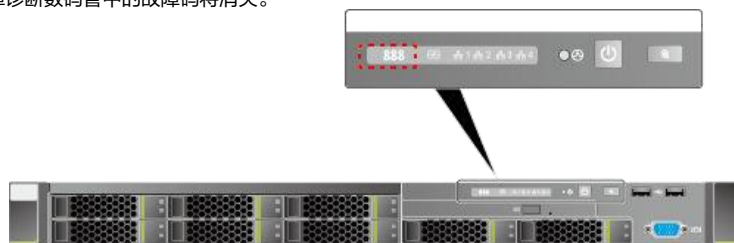
硬盘Active指示灯	硬盘Fault指示灯	含义	处理步骤及说明	
绿色常亮	灭	表示硬盘工作正常	无需任何操作。	
绿色闪烁		表示硬盘正在读写数据		
绿色常亮	黄色闪烁	表示硬盘被定位或RAID重构		
绿色闪烁				
绿色常亮/绿色闪烁/灭	黄色常亮	表示硬盘故障	登录iBMC且使用FusionServer Tools Toolkit工具检查硬盘是否存在故障。	
灭	灭	表示硬盘不在位或硬盘故障	请检查硬盘是否完全接触正常或登录iBMC且使用FusionServer Tools Toolkit工具检查硬盘是否存在故障。	

通过指示灯定位故障（4）

模块指示灯	指示灯状态	含义	处理步骤及说明
网口Link指示灯	绿色（常亮）	表示网口连接正常	无需任何操作。
	灭	表示网口未使用或故障	1.交叉检查交换机和网线是否正常。 2.检查网卡状态是否正常。
光口数据传输状态指示灯	橙色（闪烁）	表示有数据正在传输	无需任何操作。
	灭	表示当前无数据传输	
光口连接状态指示灯	绿色（常亮）	表示网络连接正常	无需任何操作。
	灭	表示网络未连接	1.交叉检查交换机、光纤、光模块(类型、速率是否匹配)是否正常。 2.检查操作系统网卡状态是否正常。 3.检查交换机和网卡端口是否UP。
管理网口数据传输状态指示灯	黄色（闪烁）	表示有数据正在传输	无需任何操作。
	灭	表示当前无数据传输	
管理网口连接状态指示灯	绿色（常亮）	表示网络连接正常	无需任何操作。
	灭	表示网络未连接	1.交叉检查交换机和网线是否正常。 2.检查网卡状态是否正常。

根据故障诊断码定位故障（1）

- 当服务器前面板的故障诊断数码管中显示故障码时，则表示服务器硬件出了故障。
- 操作步骤：
 - 查看故障诊断数码管中的故障码；
 - 登录服务器的iBMC的Web界面，查找对应的告警；
 - 根据故障处理建议进行处理；
 - 故障处理成功后，故障诊断数码管中的故障码将消失。



根据故障诊断码定位故障（2）

模块	故障码	故障描述	模块	故障码	故障描述
数码管	888	数码管无输入默认状态。	-	---	设备运行正常。
CPU	C0N	CPUN或外围器件异常或故障。N表示CPU编号。	硬盘	HXY	硬盘XY异常或故障。
内存	XYZ	DIMMXYZ异常或故障。XYZ表示内存编号。		HAN	后置Hdd AN硬盘异常或故障。
系统电源	U00	Standby电源异常。		HbN	后置Hdd BN硬盘异常或故障。
	U10	非Standby电源异常。		dXY	后置Slot XY槽位硬盘异常或故障。
	UCN	CPUN相关电源异常。N表示CPU编号。	板载网卡	n01	板载网卡异常或故障。
	P0N	电源模块N异常或故障。N表示电源模块编号。	PCIe卡	q0N	PCIe卡N异常或故障。N表示PCIe卡编号。
风扇	F0N	风扇N异常或故障。	硬盘背板	bP1	前置硬盘背板电源异常。
主板	b01	主板电源异常。		bP2	内置硬盘背板电源异常。
	b02	RAID卡异常或故障。		bP3	后置硬盘背板电源异常。
	b03	RAID卡通信丢失。	备用电池单元	bb0	备用电池0异常。
	b05	I/O板异常。	温度	A00	进风口温度超过服务器工作温度范围。
	L01	线缆未插稳或连接错误。		A0N	CPUN温度超过CPU工作温度范围。N表示CPU编号。
	E01	CMOS电池异常。			

根据日志分析定位故障

- 关注故障发生时间的前后日志信息；
- 注意系统时间与本地时间的时差；
- 查找Fail、Error等关键字。

```
1e4 | 2019-05-16 16:18:44 | Memory (DIMM031) | Configuration error | Deasserted
1e3 | 2019-05-16 16:18:44 | Memory (DIMM021) | Configuration error | Deasserted
1e2 | 2019-05-16 16:18:44 | Slot / Connector #0xf3 | Slot is disabled_#5 | Deasserted
1e1 | 2019-05-16 16:18:44 | Slot / Connector #0xf3 | Slot is disabled_#4 | Deasserted
1e0 | 2019-05-16 16:18:44 | Slot / Connector #0xf3 | Slot is disabled_#3 | Deasserted
```

```
10a | 2019-05-13 Mon 15:34:37 | Drive Slot (DISK3) | In Failed Array | Deasserted
109 | 2019-05-13 Mon 15:34:26 | Drive Slot (DISK3) | In Failed Array | Asserted_Major
108 | 2019-05-13 Mon 15:34:07 | Drive Slot (DISK3) | Hard disk presence | Deasserted
107 | 2019-05-13 Mon 15:25:25 | Drive Slot (DISK3) | Hard disk drive fault | Deasserted
106 | 2019-05-13 Mon 15:17:43 | Drive Slot (DISK3) | Hard disk drive fault | Asserted_Major
105 | 2019-05-13 Mon 15:14:09 | Drive Slot (DISK2) | Hard disk drive fault | Deasserted
```

根据现象处理故障

- 电源问题
 - 单电源模块故障，健康状态指示灯红色闪烁；设备不通电，指示灯全灭。
- POST阶段异常
 - 待机不能上电，电源按钮指示灯黄色常亮；上电即掉电；反复上下电；RAID卡自检卡住。
- 内存错误问题
 - 系统内存少于安装的物理内存；出现内存不可纠正错误的告警。
- 硬盘IO问题
 - iBMC上报磁盘告警；单个或部分硬盘在RAID卡中不识别；全部硬盘在RAID卡中不识别。
- 以太网控制器问题
 - 网口不可见；网口不通；网口丢包/错包；网口性能不达标。
- OS问题

目录

1. 告警处理
2. 故障诊断
- 3. 服务器部件故障**

TaiShan 200服务器部件故障场景

- TaiShan 200服务器部件故障主要有如下场景：
 - CPU主板故障
 - 内存故障
 - RAID卡故障
 - 硬盘故障
 - 网卡故障
 - BIOS故障
 - GPU故障

TaiShan 200 CPU主板故障场景

- TaiShan服务器的CPU集成在主板上，不支持单独更换，CPU或主板出现故障时只能更换主板解决。
常见的CPU及主板问题主要有以下几种：
 - CPU过热宕机
 - CPU VRD温度读取失败
 - CPU不在位
 - CPU自检失败
 - CPU配置错误
 - CPU MCE/AER错误
 - CPU电压过高或过低
 - 主板异常下电
 - 主板上电超时

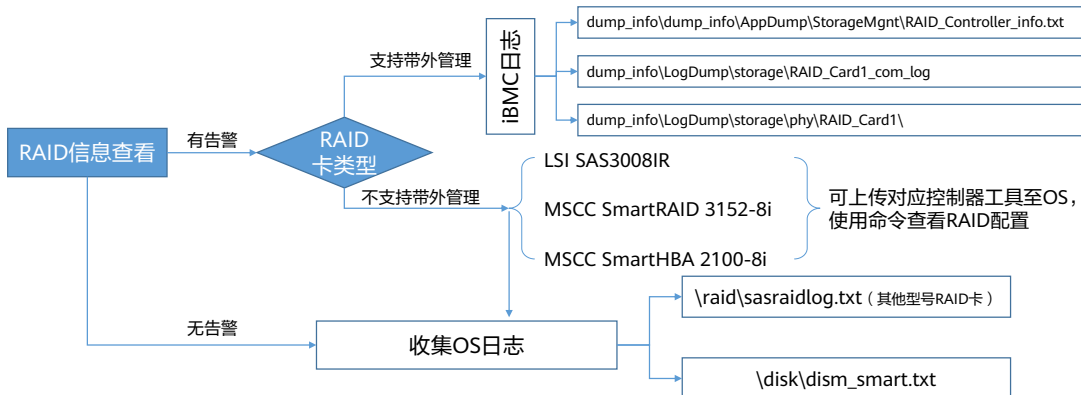
TaiShan 200内存故障场景

- 内存常见错误主要有内存CE错误和内存UCE错误。
- 内存CE错误
 - 服务器在运行过程中，内存存储单元发生了bit跳变，但错误可以通过ECC（Error Checking and Correcting）来纠正。偶发性的地址命令错误、X4颗粒内存的单颗粒多bit错误、X8颗粒内存的单颗粒单bit错误都有可能导导致CE错误。
- 内存UCE错误
 - 服务器在运行过程中，发生了错误并且错误无法通过ECC来纠正。
- 内存错误抑制机制：
 - CE风暴
 - Correct error Threshold
- 出现内存故障时要根据故障场景及客户要求，选择更换或不更换内存。

- CE风暴
 - 每次CE上报一次SMI中断。两次CE间隔1分钟，连续产生10次，计一次CE风暴。
- CE风暴检测和抑制：
 - iMU对CE错误中断进行统计，当超过门限（10次/10s）后，认为发生CE风暴，屏蔽芯片CE错误中断，通过轮训（10s）方式查询芯片错误，并上报OS和BMC。
 - iMU如果连续5分钟未查询到CE错误发生，则重新打开CE中断。
- Correct error Threshold
 - 内存CE错误产生后会通过漏斗值进行计数，超过设定漏斗值后会进行上报overflow，当前BIOS设定的默认阈值为6000。

TaiShan 200 RAID故障场景

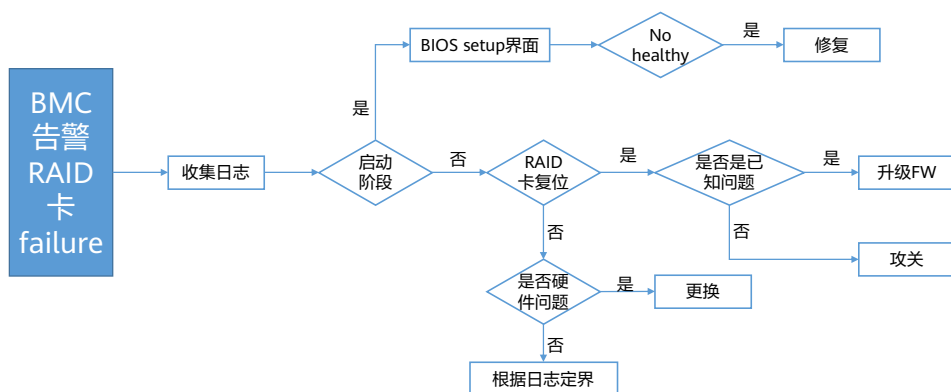
- 不同RAID控制卡技术规格与特性不同，重点关注RAID控制卡是否支持带外管理，支持带外管理可在iBMC日志中获取配置信息，不支持带外管理需下载对应的工具在OS侧查询。



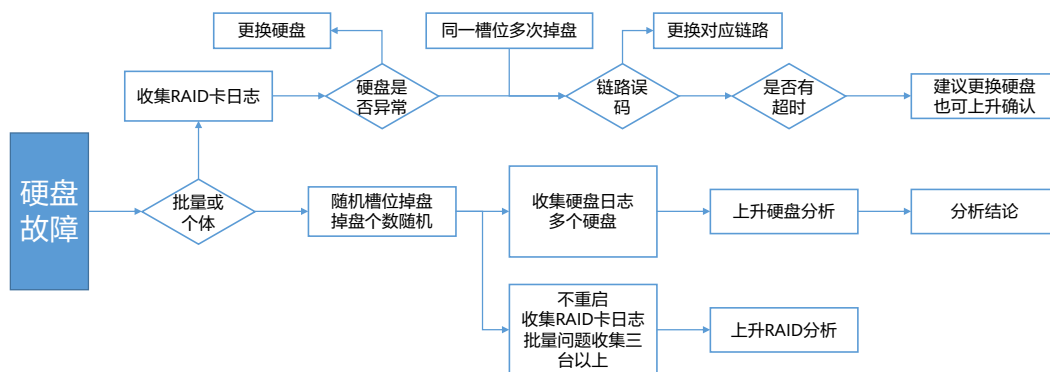
- RAID_Controller_Info 部分信息简介。
 - Controller Type 控制器信息
 - Support Out-of-Band Management 控制器是否支持带外管理
 - Controller Mode 控制器模式 (RAID or JBOD)
 - Firmware Version 固件版本
 - BBU Status 超级电容在位状态
 - PHY Status RAID控制卡接收端误码计数
 - Physical Drives Information 物理盘信息
 - Logical Drive Information 逻辑盘RAID组信息
- Sasraidlog。
 - opt/MegaRAID/storcli/storcli64_arm /call/vall show all RAID组的配置信息
 - opt/MegaRAID/storcli/storcli64_arm -AdpAllInfo -aALL 控制器信息
 - opt/MegaRAID/storcli/storcli64_arm -PDList -aALL 硬盘信息
 - opt/MegaRAID/storcli/storcli64_arm -adpalilog -aALL RAID卡的历史操作日志记录
 - opt/MegaRAID/storcli/storcli64_arm -adpbucmd -aALL 电容详细信息

- `opt/MegaRAID/storcli/storcli64_arm /call/pall show all` RAID卡接收端的误码计数信息
- `opt/MegaRAID/storcli/storcli64_arm /call/eall show phyerrorcounters` Expander接收端的误码计数信息
- `opt/MegaRAID/storcli/storcli64_arm /call/eall/sall show phyerrorcounters` 硬盘接收端误码计数信息
- RAID_Card1_com_log。
 - RAID卡近一次启动的串口详细日志打印，重点关注Fatal查询FW是否有打印，可查询RAID重组进度。

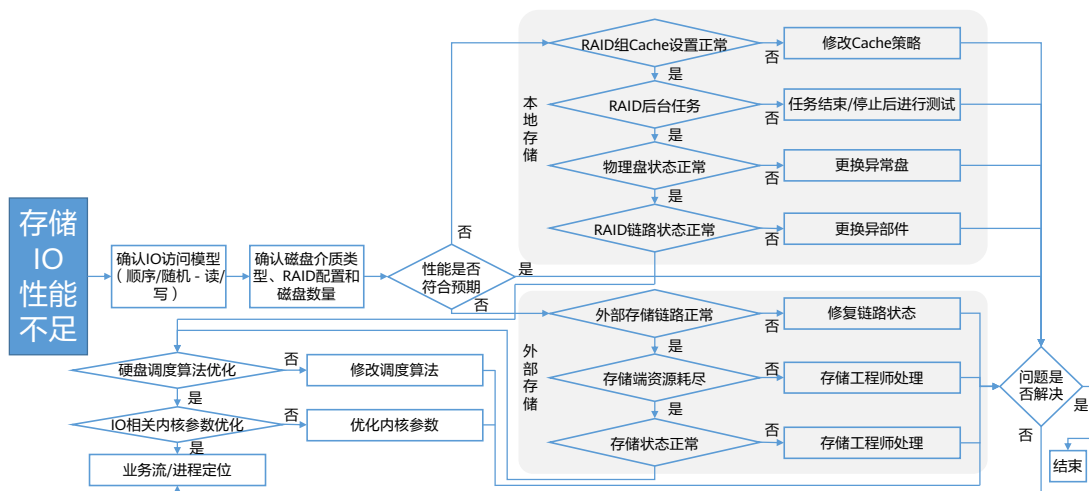
RAID控制卡常见问题分析思路 - iBMC上报RAID控制卡failure



RAID控制卡常见问题分析思路 - 硬盘故障



RAID控制卡常见问题分析思路 - IO性能类问题



TaiShan 200服务器硬盘问题处理

- 硬盘故障：指硬盘发生硬件或者软件上的故障，或使用周期过长磨损发生硬盘不可使用或者使用不正常。
- 硬盘故障分为有硬盘相关BMC告警和无BMC告警两种场景，有告警就收集BMC日志进行告警分析，无告警可从RAID控制卡日志、操作系统日志、上层应用日志等入手，看是否有相关IO报错或识别问题。
- 硬盘告警最终解决方案可能是修改硬盘状态、更换硬盘、更换sas线缆、硬盘背板等。

TaiShan 200服务器网卡问题处理

- 网卡从简单的特性上区分，可以分为NIC、FC、IB、融合网卡等；如果从硬件形态上区分，可以分为板载直出网卡，FlexIO网卡，PCIE网卡，MEZZ卡和OCP网卡等；如果从网口连接器形态可以分为电口卡和光口卡。这一系列的区分方式，构成了TaiShan服务器上多种多样的网卡产品形态。
- 网卡常见问题主要有：
 - 网卡硬件初始化类问题
 - 网卡驱动初始化类问题
 - 网卡link类问题

TaiShan 200服务器网卡问题处理 - 网卡硬件初始化类问题

- 网卡作为一个硬件设备，在BIOS扫描设备之前，就必须完成初始化，否则无法正常的为它分配BUS号和BAR空间。网卡硬件的初始化一般认为是网卡硬件和底层固件一起，自给网卡供电后，网卡自身进行的一系列的初始化流程。除了1616芯片直出的网卡外，其他网卡在正常初始化后，都可以在系统下通过命令`lspci |grep -i Eth`找到对应的pci设备。如果未找到相应的pci设备需要进行如下考虑：
 - 网卡硬件初始化失败；
 - 网卡pci.ids未及时更新，显示问题；
 - 1616 IO直出网卡；
 - 网卡初始化时序与BIOS扫描时序差异；
 - 网卡设备在BIOS中被关闭。

- 网卡硬件初始化失败。
 - 该类问题处理比较繁琐，需要网卡硬件通过类似串口或者底层固件日志判断，网卡硬件初始化失败的原因。但一般网卡都会在产品化的时候，将物理串口给裁掉，而采用别的DFX手段。类似1822网卡遇到该问题，就可以先判断是否是概率性的识别不到网卡，如果是概率性识别不到网卡，可以通过上下电方式，在OS能正常加载驱动的时候，采用`hnic_collect_log.sh`脚本收集对应的网卡日志，由此判断网卡硬件异常的根因。而类似Intel的网卡，可以通过直接收集网卡的寄存器来判断网卡硬件初始化失败的原因。
- 网卡pci.ids未及时更新，显示问题。
 - 系统中pci设备的具体显示都是系统查询pci.ids文件后显示的，如果一个pci设备显示不符合预期，可以尝试更新最新的pci.ids文件。
- 1616 IO直出网卡。
 - 1616 IO直出的网卡设备不在系统中呈现PCI设备，此现象为正常现象，一般认为只要使用了1616芯片，就有直出网口，可以直接在带外查看，如果带外查看不到网卡设备，一般怀疑CPU硬件出现了问题。
- 网卡初始化时序与BIOS扫描时序差异。
 - 如果在网卡初始化正常情况下，BIOS再去识别设备，一般可以正常加载PCI设备，并分配BDF号。如果在网卡初始化结束之前，BIOS提前扫描了PCI设备，此时PCIE无法建链，导致无法为PCI设备分配正常的BDF号，系统中就没有对应的

PCI设备。

- 网卡设备在BIOS中被关闭。
 - 如果在BIOS中关闭了网卡对应的PCIE端口，BIOS就不会去扫描对应的PCI设备，也就不会生成对应的PCI设备。

TaiShan 200服务器网卡问题处理 - 网卡驱动初始化类问题

- 用户如果需要在系统中使用网卡设备，就必须给网卡设备加载必要的驱动程序。生成对应的网络设备后，用户才能真正使用网卡设备。驱动程序分为用户态和内核态，用户态驱动以so文件为主，内核态驱动以ko文件为主。
- TaiShan服务器上的nic内核态驱动一般包含两大类，友商和海思自研。友商的nic驱动包含Intel的ixgbe、i40e、igb驱动，mellanox的mlx4_core、mlx5_core等；海思自研的nic驱动包含1616的hns驱动，1620的hns3驱动，1822的hinic驱动等。内核态驱动在加载的时候，一般会有对应的内核信息打印。网卡驱动在初始化时，一般涉及到主要的两个过程，网卡的probe流程和端口的open流程。在这两个主要流程中，含有主机资源分配，网卡能力上报、网卡资源分配等，一般在内核日志中搜索网卡驱动名或者网卡的pci号查找是否有相应的报错，然后再下载对应版本的驱动，从代码中查看具体根因。

TaiShan 200服务器网卡问题处理 - link类问题

- 电口类问题
 - 线缆问题
 - 闪断问题
 - 无法连接问题
- 光口类问题
 - 光模块问题
 - 线缆问题
 - 双端模式不匹配

- 电口类问题：
 - 线缆问题：可以更换新线缆解决，如果线缆不能满足使用场景，需要使用材料更优的线缆。
 - 闪断问题：电口容易被周边的电磁信号干扰，所以部署业务的时候要远离电磁信号。
 - 无法连接问题：电口要注意对端是否是POE设备，本端是否兼容；先确认本端无问题，自环后，再与对端相连，排除因为速率无法协商导致的link down。最后确认是否设置了link跟随，此场景必须先up端口，端口才会open，link灯才会亮。
- 光口类问题：
 - 光模块问题：光模块不兼容、NIC/FC模块混插、速率不同的光模块混插、光模块单个硬件损坏等，如果网卡支持ethtool -m功能，可以通过该命令查询光模块的具体信息，1822也可以使用hinicadm命令查询光模块的具体信息，方便远程定位。
 - 线缆问题：如使用DAC线缆，需要确认网卡是否支持，是否存在兼容性要求。如使用1分4线缆，是否需要做特殊配置才能兼容等。一般线缆要确认是否有损坏，是否支持单/双模等，一般不能直接使用眼睛查看是否出光，可以使用交叉测试确认是否是单根线缆问题。
 - 两端模式不匹配：模式一般涉及到是否是自协商、自适应、速率是否强制、FEC

模式等等是否一致，不一致都可能会造成无法link。

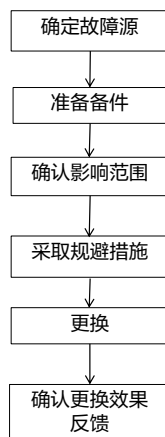
TaiShan 200服务器BIOS问题

- BIOS主要功能是上电、自检和检测输入输出设备和可启动设备。包括内存初始化，硬件扫描和寻找启动设备，启动系统。以下几章节，会从现网上常遇到的几个方面概述如何简单快速界定BIOS问题。
 - 硬件自检类问题
 - 启动过程中无法找到启动设备问题
 - BIOS参数调整导致异常问题
 - BIOS版本异常问题

部件更换流程及注意事项

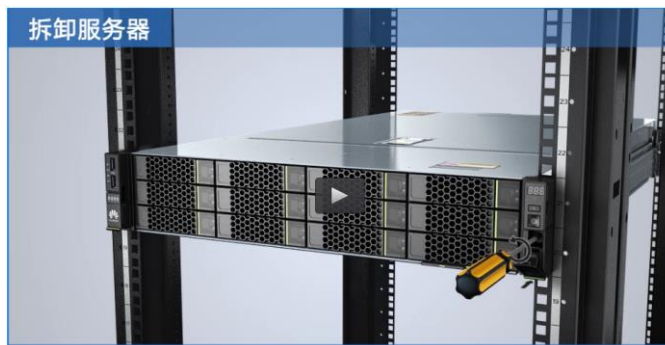
- 注意事项：

- 防静电；
- 机柜正确接地；
- 严格按照操作步骤执行；
- 部件轻拿轻放，严禁暴力施工；
- 需要中断业务时必须由客户停止业务并关机，在客户正式授权后方可实施更换。



部件更换操作指导

- 请参考官网产品文档：华为机架服务器 产品文档 > 维护与服务指南> 拆卸与安装> 基本操作。
- 更换部件视频：华为官网>技术支持>文档中心>服务器>安装升级>硬件安装指南。



思考题

1. （单选题）以下关于TaiShan 200（型号2280）服务器故障及处理措施的描述，错误的是哪一项？
- A. 主板故障导致异常下电，更换主板
 - B. CPU自检失败，更换CPU
 - C. 内存短时间内产生较多CE错误，更换内存
 - D. 硬盘识别不到，重新拔插硬盘尝试修复

- 答案：
 - B

本章总结

- 本章讲述了TaiShan 200服务器的告警处理方法、故障诊断方法以及常见部件故障问题及处理方法。

学习推荐

- 鲲鹏服务器维护宝典:

<https://support.huawei.com/enterprise/zh/doc/EDOC1100197843/426cffd9>

Thank you.

把数字世界带入每个人、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界。

Bring digital to every person, home, and
organization for a fully connected,
intelligent world.

版权所有 © 华为技术有限公司 2026。

保留一切权利。

未经华为事先书面许可，任何人不得对本资料进行复制、修改、
整合、改编、翻译，也不得将本资料或其任何部分或基于本资
料的衍生作品提供、出售、转让、再许可给任何人用于华为
许可以外的任何其他用途。

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2025.

All Rights Reserved.

Without prior written permission of Huawei, no one is
allowed to reproduce, modify, integrate, adapt, translate
this Document, or provide, sell, transfer, sublicense this
Document or any part of this Document or its derivative to
any third party for any other purpose otherwise permitted
by Huawei.



专业技术人员职业素养与组织赋能



前言

- 在技术高歌猛进、业务复杂多元的今天，我们坚信，卓越的专业追求绝非孤立存在，它既需要**内化于心的职业道德**——对专业诚信的坚守、对合规红线的敬畏、对技术伦理的审慎；也需要**外化于行的组织赋能**——打破技术孤岛，通过知识沉淀、经验传承，将个人能量转化为组织发展的动能。

目标

- 学完本课程后，您将能够：
 - 清晰界定技术应用的边界，识别风险；
 - 建立持续迭代的技术成长思维，以适应指数级发展趋势；
 - 掌握标准化带教方法，将个人技术传承延续。

目录

1. 职业道德
2. 终身学习
3. 培训指导

从业者的三重责任

三重责任

核心目标：明确责任边界与核心义务

1. **专业责任：**追求技术卓越，保持专业精进
2. **社会责任：**维护公共利益，坚守伦理底线
3. **带教责任：**传承知识与规范，赋能团队成长



三者间的关系

职业道德 → 技术技能 (约束关系)

职业道德为技术技能的应用划定边界。如生成式AI伦理约束AI模型开发方向；网络安全法规约束网络技术操作

培训指导 → 技术技能 (赋能关系)

培训指导为技术技能的习得提供方法论。如利用知识图谱工具构建能力图谱指导学习路径；“先培训再上岗”确保技术技能达标

技术技能 → 职业道德 (实践关系)

技术技能是践行职业道德的载体。如只有掌握了数据安全技术，才能真正保护用户隐私

技术技能 → 培训指导 (反馈关系)

技术技能的掌握程度反馈培训指导的有效性，驱动培训方案迭代

职业道德 ↔ 培训指导 (融合关系)

培训指导本身需遵循职业道德；同时培训指导也是传播职业道德的主渠道

职业道德核心原则解析

一般伦理原则

核心目标：确立社会底线

1. **人类福祉**：将公众安全、健康及福祉置于技术发展的首位
2. **诚实守信**：保持专业诚信，不隐瞒已知风险，不误导用户
3. **公平公正**：避免算法歧视，确保技术应用的包容性与公平性
4. **避免伤害**：预防技术滥用，主动规避对社会的潜在负面影响
5. **尊重权益**：尊重法律、知识产权以及用户隐私，严守数据边界

职业伦理原则

核心目标：确立行业标准

1. **追求卓越**：持续精进技术能力，保持对高质量交付的追求
2. **保持专业**：遵循行业规范，维护职业声誉，保持客观中立
3. **同行评议**：确保研究成果的质量和可信度，维护学术和职业的公平和正义
4. **尽职尽责**：对岗位负责，确保系统稳定与安全
5. **维护专业形象**：维护计算机行业的形象与声誉，促进计算机技术的普及及推广

一般伦理原则与职业伦理原则的双重规范

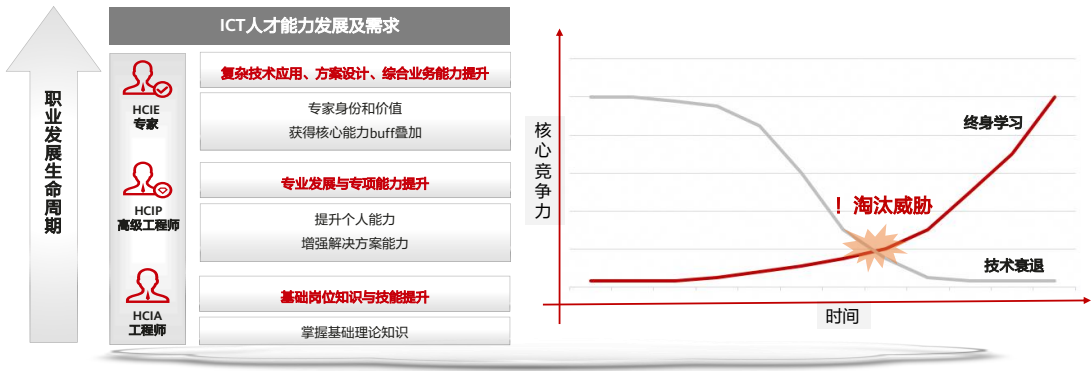
目录

1. 职业道德
- 2. 终身学习**
3. 培训指导

数智升级，对人才培养与技能评价提出更高要求



华为职业认证：终身学习



技术发展现状

- 迭代加速、跨界融合、技术颠覆成为常态，停止学习即被淘汰
- 从“碎片化输入”到“知识晶体”，真正的学习，是将外界的碎片重构成自身的“护城河”

目录

1. 职业道德
2. 终身学习
- 3. 培训指导**

角色升级：从技术能手到培训导师

“技术工作是把事做好，培训带教是把人带会”

	技术能手	培训导师
核心角色	解决特定技术问题	知识传递者、能力引导者、问题解决者
交付成果	高质量的代码与系统	独立规范上岗的专业人才
核心能力	专业硬技术、排障能力	会梳理知识、会标准示范、会纠错复盘



带教原则

实用为先

贴合岗位真实场景，不讲空话

实操为主

重动手，重细节，真操实练，夯实技术

问题导向

解决实操卡点与上岗痛点

全程闭环

课前有备

定目标，梳理重难点

课中有方

示范、纠错、控场、盯安全

课后有落

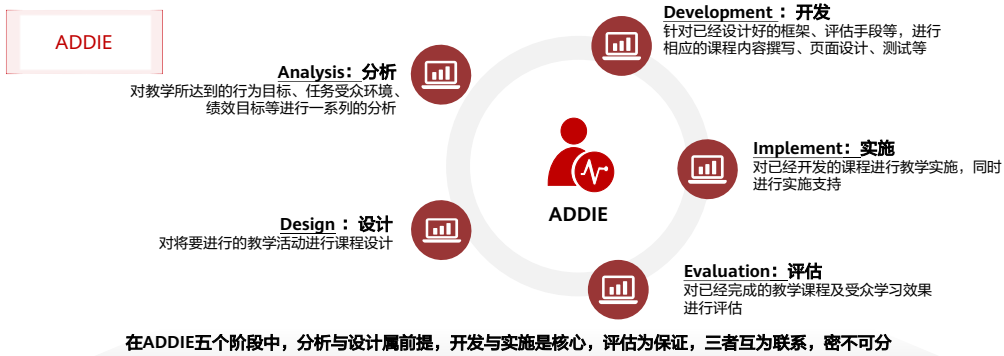
答疑、考核、建档、跟进成长

培训与指导

ADDIE：将A、D、D、I、E五个步骤综合起来考虑，形成系统，保障各个环节能进行及时有效的评估

SAM模型：提倡“快速迭代、小步快跑”，分为三阶段：准备、迭代设计、迭代开发

6D法则：以终为始，把培训的生命周期向后延伸，将“培训”转化为“商业结果”的全面流程



Analysis: 分析阶段

分析阶段是首要的环节，是确定培训目标、设计培训计划的前提，也是决定培训是否开展的关键因素

在培训的各个阶段都要有分析，通过问卷、约谈、电话等各种形式，了解对象、组织、课程的各方面需求



需求分析 (WHY/WHAT) :

组织需求 (公司层面) :

公司的战略目标是什么?
目前阻碍目标实现的“痛点”是什么?

岗位需求 (标准层面) :

目标岗位需要具备哪些核心胜任力?
标准的操作流程 (SOP) 或优秀员工的行为典范是怎样的?



需求对象分析 (WHO) :

基本属性 (画像) :

学员的年龄分布、学历、司龄、目前的岗位层级。

认知与经验起点:

他们对这个主题已经了解多少?
他们日常遇到的实际工作场景和痛点是什么?

学习动机与风格:

他们是主动想学，还是被公司强迫来的?



培训环境分析 (Where & How)

面授课堂: 教材需要配套 PPT、讲师手册、学员手册、通关演练通关单。

线上微课/E-learning: 教材需要拆解为结构化的“脚本”或“脚本大纲”，方便录制音频或制作动画。

混合式培训 (OMO) : 线上学理论 (教材偏精简、清单化)，线下做演练 (教材编案例、工具化)。



培训内容分析 (Which)

知识类: 讲概念、原理 (要少而精)。

技能类: 讲步骤、方法、流程 (要多、要细、要有标准)。

态度类: 讲观念转变、企业文化 (要通过故事和案例来感染)。



培训资源分析 (With What)

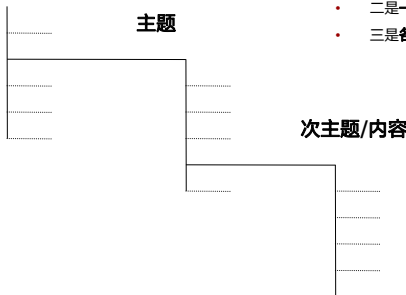
师资资源: 有没有内部的业务专家 (SME) 作为内容源头?

素材资源 (现成原料) : 公司现有的 SOP 手册、过往的失败案例库、竞品资料、行业标准等。

Design：设计阶段

设计阶段要制订一份完成培训项目所必需的说明提纲。基本内容包括必须制定的目标、目的和评估任务
基于培训项目的相关决策和其它实施问题的体系结构，确定各项任务的顺序

单元



课程单元结构的关系

- 一是**相对独立型**，各学习单元在位置上可以互换
- 二是一个单元是构成另一个单元的基础，这种类型在序列上极为严密
- 三是各单元学习内容的联系成**综合型**，即有的是相互独立关系，也有的是严格序列关系

主题的组织方式 - 螺旋式

- 即根据培训对象的智力发展水平，让学员尽早有机会在不同程度上去接触和掌握某门学科的基本结构，以后随着学员在智力上的成熟，围绕基本结构不断加深内容深度，使学员对知识有更深刻和有意义的理解。

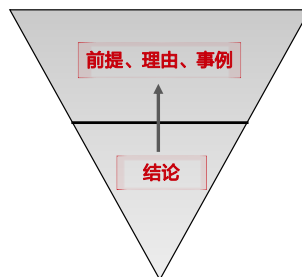
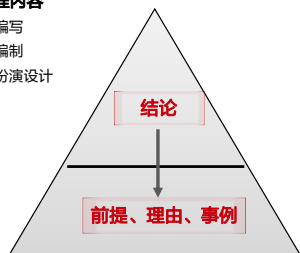
Development : 开发阶段

开发阶段的要点在于**开发创建教学材料**的方法和流程。根据之前总结的各干系方需求，开发培训教材（资料），设计好阶段性评估文件等。在这一阶段中，内容和材料从概念设计转变为可交付成果。

1: 收集素材

2: 组织课程内容

- 内容编写
- 案例编制
- 角色扮演设计



检查错误

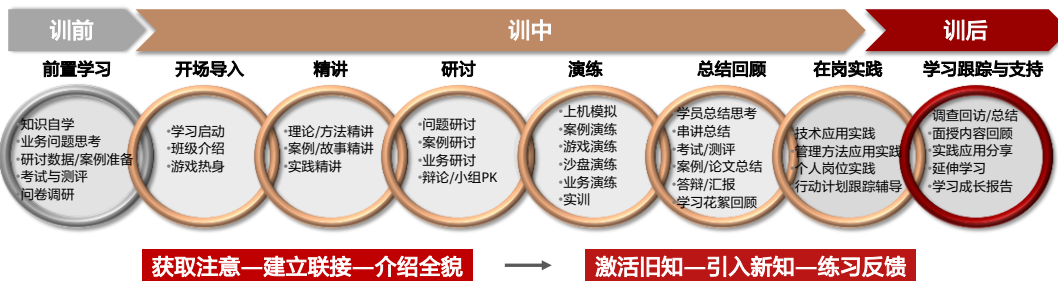
- 标题
- 段落
- 句子
- 表格
- 图形
- 缩略语/术语
- 数与数量
- 标点符号
- 单位符号

思考时多按金字塔顺序，但表述要用倒金字塔顺序

Implement: 实施阶段

- **教学程序**: 从把学员引入某个专题, 到掌握某个目标为止向学员呈现教学时教学活动的程序、步骤
 - **教学方式**: 呈现教学时运用的手段、方法, 如分组讨论、独自阅读、个案研究、讲授、计算机模拟、小组协作项目等
- 认知学习的一个关键概念是在信息从**工作记忆**迁移至**长期记忆**时, 对信息进行提取或演练, 从而强化长期记忆

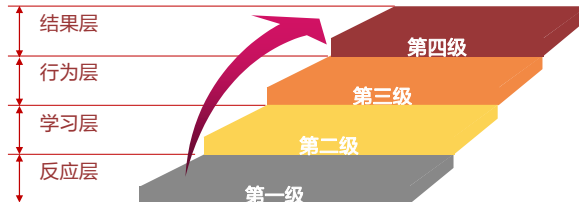
“三段八环六素”教学理论, 把学习过程分片, 根据不同技术场景, 适配不同教学活动, 提升学习效果。



Evaluation: 评估

主流评估模型：柯氏四级、菲利普斯五级、考夫曼五级、CIPP 模型等
行业地位：历经行业检验，**柯氏四级**时至今日仍是不可动摇的经典基石模型

层次	重点描述	衡量方法	评价人员
反应层	受训者满意程度：喜欢该项目吗？对培训人员和设施有什么意见吗？课程有用吗？	问卷	学员
学习层	受训者在培训前后，知识、技能、态度、行为方式方面的收获：有多大程度的提高？	笔试、实地操作和工作模拟	学员和培训人员
行为层	培训后，受训者行为的改进：行为有无不同？他们在工作是否使用了在培训中所学的知识？	问卷调查、面谈、直接观察、业绩检测、专题研究、实践计划	学员、学员上级、下属、同事、客户
结果层	受训者获得的经营业绩：组织是否因为培训变得更好？	问卷调查、业绩检测、业绩目标法	学员、学员上级



反应层评估 (Reaction)：评估被培训者的满意程度
学习层评估 (Learning)：测定被培训者的学习获得程度
行为层评估 (Behavior)：考察被培训者的知识运用程度
结果层评估 (Result)：计算培训创出的经济效益

思考题

1. （单选题）项目经理小张突然接到紧急通知，需要当晚在公司内网加班处理一份涉及公司**核心商业秘密与关键技术参数**的涉密文件。由于公司保密机房的专用有线计算机键盘出了故障，为了不耽误进度，小张决定采取一些临时措施。请问以下哪**一项行为是明确禁止**的？
 - A. 临时将这份涉密文件拷贝到自己带有 Wi-Fi 芯片和蓝牙功能的个人便携式笔记本电脑上处理。
 - B. 立即联系IT安全部门，申请对当前的涉密系统环境进行一次全面的安全性评估。
 - C. 调整工位，移步到未链接互联网、且切断一切外网物理信号的涉密专用计算机上处理。
 - D. 确保待在公司规定的受控办公室内，在无无关人员围观的闭环环境下处理该涉密资料。
2. （判断题）培训完成后，进行了结业考试，考试通过就代表学员完全掌握了这项技能。

- A
- 错

本章总结

- 本章讲述了从业者的成长路径
 - 坚守底线：牢记行为红线，确保技术向善
 - 持续学习：践行终身学习，应对瞬息万变
 - 培训指导：应用教学实践，传承优秀同路人

学习推荐

- 《中国计算机学会职业伦理与行为守则》：
https://www.ccf.org.cn/About_CCF/CCF_Constitution/2023-07-26/794450.shtml

Thank you.

把数字世界带入每个人、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界。
Bring digital to every person, home, and
organization for a fully connected,
intelligent world.

版权所有 © 华为技术有限公司 2026。

保留一切权利。

未经华为事先书面许可，任何人不得对本资料进行复制、修改、
整合、改编、翻译，也不得将本资料或其任何部分或基于本资
料的衍生作品提供、出售、转让、再许可给任何人用于华为
许可以外的任何其他用途。

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2026.

All Rights Reserved.

Without prior written permission of Huawei, no one is
allowed to reproduce, modify, integrate, adapt, translate
this Document, or provide, sell, transfer, sublicense this
Document or any part of this Document or its derivative to
any third party for any other purpose otherwise permitted
by Huawei.

