

边缘计算概览

提纲

- ▶ 课程简介
- ▶ 边缘计算概念
- ▶ 边缘计算发展脉络和历史必然
- ▶ 边缘计算的重要意义
- ▶ 领域关键问题
- ▶ 发展趋势和技术挑战

课程简介

- ▶ 本书将为读者介绍边缘计算的基础理论、概念模型、设计原理、关键技术、原型系统、应用案例等方面前沿进展，以及项目实践。
- ▶ **边缘计算产生的原因**
 - 随着物联网和5G通信产业的快速兴起，“无处不在的计算”成为了各类应用共性而迫切的需求，边缘计算应运而生。
- ▶ **边缘计算的特点**
 - 边缘计算将计算资源下沉到网络边缘设备，甚至嵌入到各类网络系统中。
 - 边缘计算的使命是让世间万物具备“思考”的能力。
 - 网络边缘在形态上可以千变万化。

边缘计算背景

- ▶ 计算与网络的融合：需求交给计算，计算交给网络



Email



VoD



Shopping



Meeting

边缘计算背景

▶ 服务越近越好，代价越小越好



摩尔定律

集成电路上可容纳的晶体管数目，约每隔两年便会增加一倍

❖ 服务越近越好

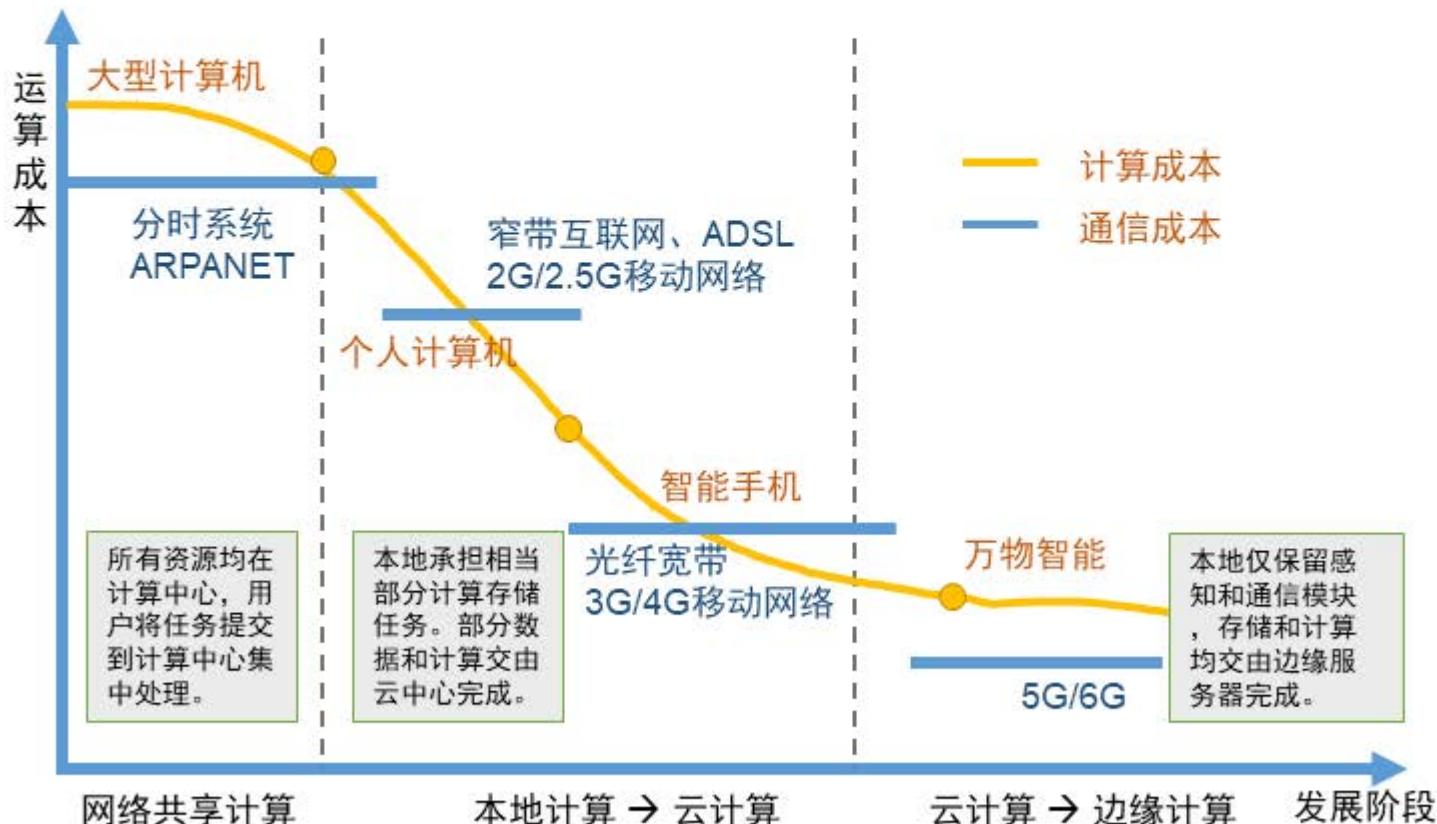
- 专用机房
- 家用电脑
- 随身携带
- 随时随地

❖ 代价越小越好

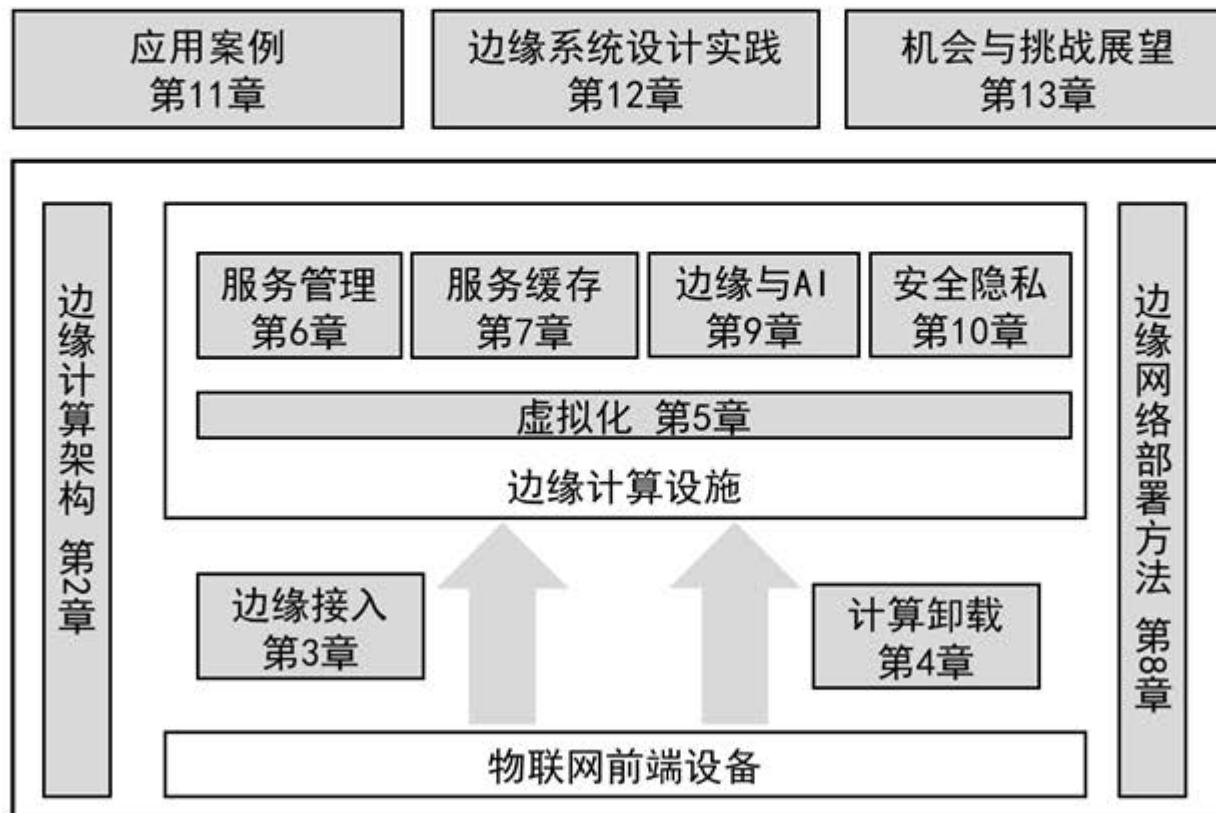
- 170平米庞然大物
- 仅占一个书桌
- 可携带
- 可穿戴
- 智能万物

边缘计算背景

▶ 计算形态的演变



课程简介



提纲

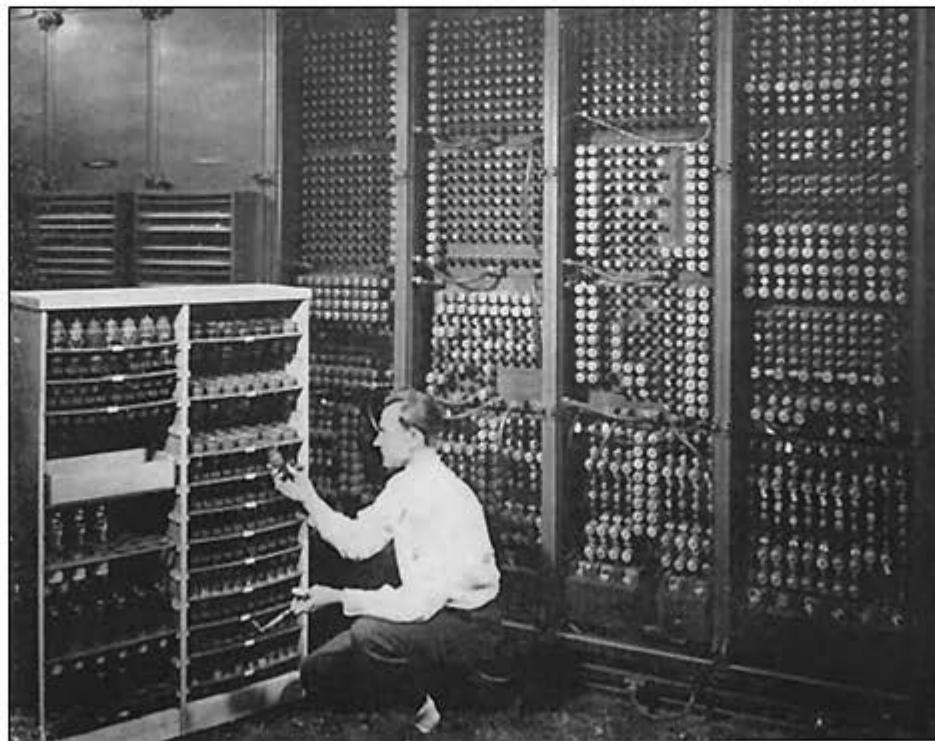
- ▶ 课程简介
- ▶ 边缘计算概念
- ▶ 边缘计算发展脉络和历史必然
- ▶ 边缘计算的重要意义
- ▶ 领域关键问题
- ▶ 发展趋势和技术挑战

边缘计算概念

- 边缘计算出现的背景
- 边缘计算的概念
- 边缘计算带来的改变

边缘计算出现的背景（1）

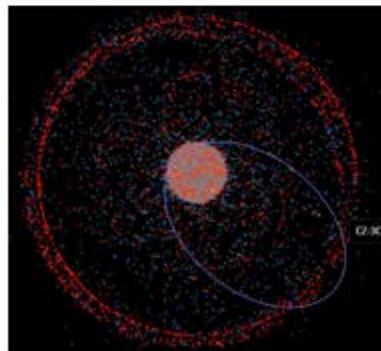
1946年，电子晶体管问世以来，为了应对越来越丰富的计算需求，计算的形态经历了几次重大变化。



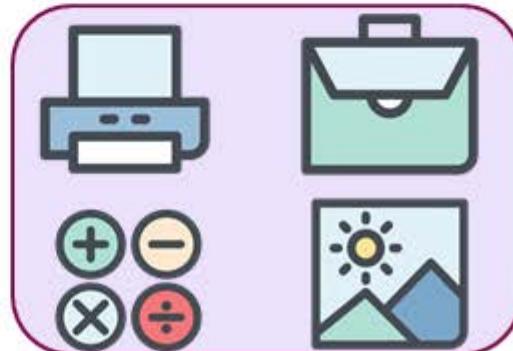
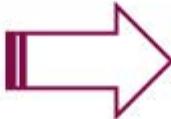
边缘计算出现的背景 (2)

▶ 共享到独占

- 在计算机发展初期，由于高昂的成本，计算机主要用于进行大型科学实验、几乎不存在现代意义的个人计算机（PC）。
- 随着集成电路的出现，计算机体积不断缩小、计算成本不断降低，人们终于可以通过独占的个人计算机满足各自的计算需求和数据存储需求，计算存在的形态也从共享为主流变为了个人计算机为主流。



大型科学实验



个人计算用途

边缘计算出现的背景（3）

▶ 本地到云端

- 随着计算机网络和Web技术的不断发展，计算机再不仅仅是存储和运算的载体，而是越来越多承担了通信的任务。大量的信息由用户本地迁移到Web服务器当中。
- 这一“信息网络化”的过程，在把数据带到服务器上的同时，也逐步将一部分运算过程也带到了服务器上，从而一步步形成了如今云计算的形态。

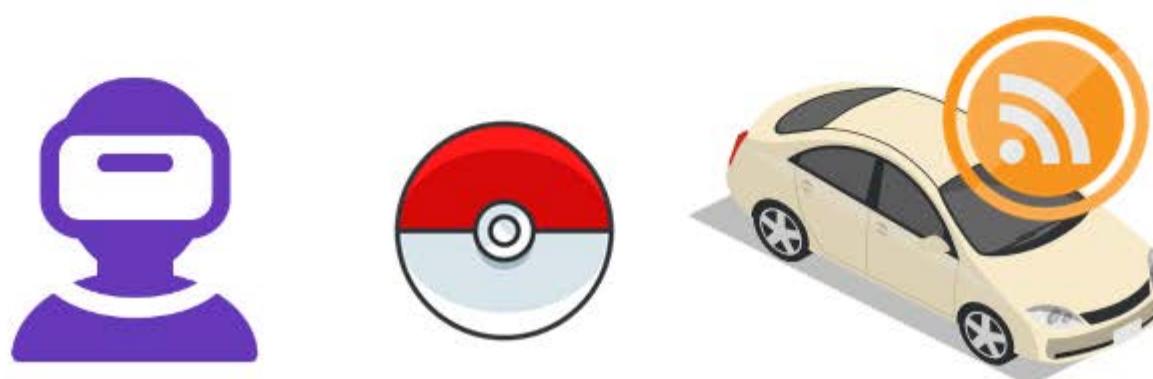


边缘计算出现的背景（4）

▶ 云端到边缘。

随着智能设备的普及，产生了如下问题：

- 本地计算的能力不足或者电量消耗过快；
- 云计算架构无法实现海量前端设备的大规模实时计算；
- 越来越多的设备接入网络，也使得云计算基础设施不堪重负；
- 计算资源从云端再次回到网络边缘，则成为了大规模实时计算的必然要求。

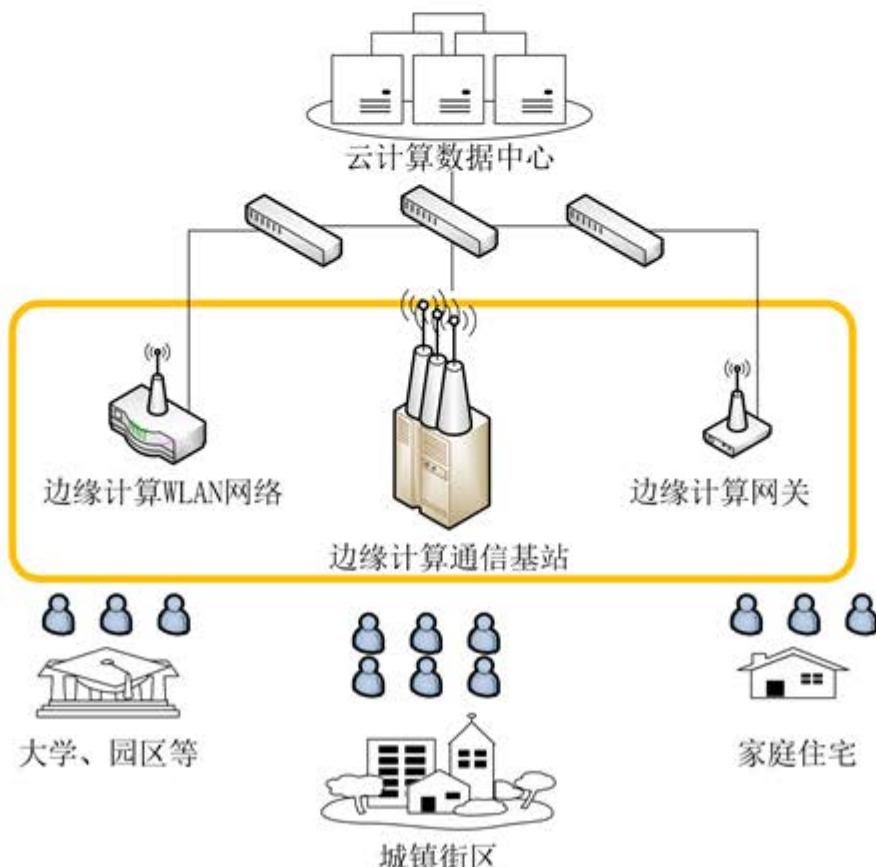


边缘计算概念

- 边缘计算出现的背景
- 边缘计算概念
- 边缘计算带来的改变

边缘计算概念（1）

- 与传统的云计算数据中心相比，边缘计算中直接为用户提供服务的计算实体，距离用户很近，通常只有一跳的距离，即直接相连。



边缘计算概念（2）

▶ 边缘计算是云计算的延伸

- 边缘计算是一种云计算优化方法，“通过将网络中集中节点（云核心）上的应用、数据和服务放置到逻辑边界节点（边缘）”，从而建立与物理世界的直接联系。

▶ 边缘计算是前端设备和云计算的中介

- 边缘计算是指哪些使得计算发生在网络边缘的技术的合集，向下的数据流来自于云计算服务，向上的数据流来自于前端的各类物联网设备。

边缘计算概念（3）

▶ 描述计算平台的角度：中国边缘计算产业联盟的定义

- 在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用核心能力的开放平台，就近提供边缘智能服务，满足行业数字化在敏捷连接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。
- 它可以作为联接物理和数字世界的桥梁，使能智能资产、智能网关、智能系统和智能服务。



边缘计算概念（4）

▶ 泛化的云与用户之间的补充：

- 边缘计算是指有数据源到云数据中心的路径上任意计算和网络资源的统称。

▶ 从计算模式发展的角度给出边缘计算的定义：

- 边缘计算是一种计算资源与用户接近、计算过程与用户协同、整体计算性能高于用户本地计算和云计算的计算模式，是实现无处不在的“泛在算力”的具体手段。

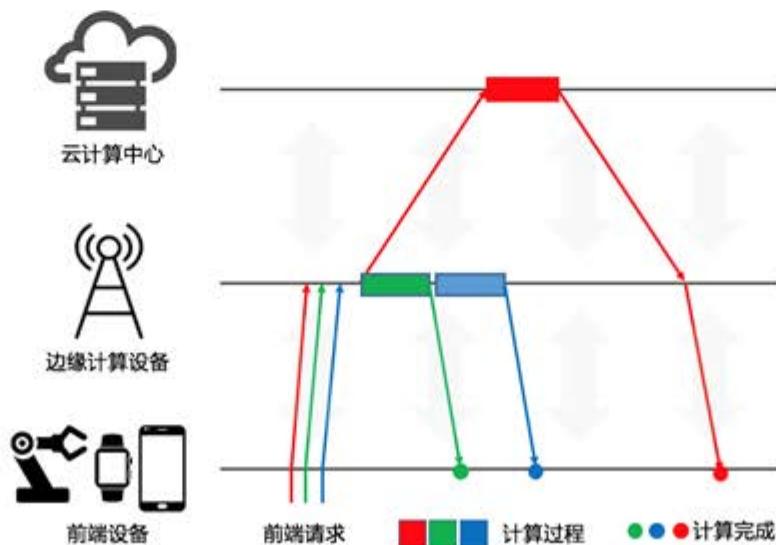
边缘计算带来的改变

- ▶ 边缘计算出现的背景
- ▶ 边缘计算概念
- ▶ 边缘计算带来的改变

边缘计算带来的改变 (1)

▶ 边缘计算模式：

- 前端设备将计算请求发送至边缘服务器；
- 如果边缘服务器具备所请求的计算服务，则执行请计算任务，并将计算结果返回至前端设备；
- 若不具备，从云服务端讲计算服务下载到边缘端，执行任务，返回结果。



边缘计算带来的改变 (2)

▶ 相比于云计算，边缘计算模式有以下重要区别：

- 极低延迟

- 边缘计算相较于云计算更加靠近于前端用户。在典型的边缘计算系统当中，前端用户与边缘服务器是单跳网络连接的。

应用场景	通信技术	通信延迟	能耗
移动计算	5G	<5ms	高
移动计算	4G	<50ms	高
室内短距	WiFi	<150ms	中
室内短距	蓝牙	<200ms	中
嵌入式物联网	ZigBee	2s	低
嵌入式物联网	LoRa	2s	低
嵌入式物联网	NB-IoT	1s	低
嵌入式物联网	SigFox	2s	低

边缘计算带来的改变 (3)

- 不同的服务类型对延迟的要求也会有所不同：

服务类型	延迟要求	用户体验
AR	高	<10ms
VR	高	<10ms
游戏	中	1-30ms 极快 31-50ms 良好 51-100ms 普通 100-200ms 较差 200-500ms 很差 >500ms 极差
音频聊天	中	<100ms 网络状态好 <250ms 网络状态较差 <1100ms 网络状态很差
视频直播	低	0.2-2s 超低延迟 2-6s 低延迟 6-18s 高延迟
浏览网页	低	<350ms 好 400-700ms 平均值

边

云

边缘计算带来的改变 (4)

■ 服务对象异构

- 考虑到边缘计算服务器主要服务于与其直接相连的设备，边缘服务器上承载的服务很大程度上决定于其服务对象设备和服务请求。
- 相比于云计算在数据中心集中管理海量的计算服务的方式，边缘服务器上运行的计算服务直接受到前端请求的影响，具有高度定制化的特点。

■ 服务类型定制化

- 由于通信延迟的降低、计算资源的增加，越来越多原本无法使用云计算的应用服务有望进行“边缘化”，与传统云计算相比，其服务类型将极大增加。
- 由于边缘计算服务器接近于前端设备且具有良好的安全性，其能够接入的设备类型也变多。



智慧码头



智慧校园

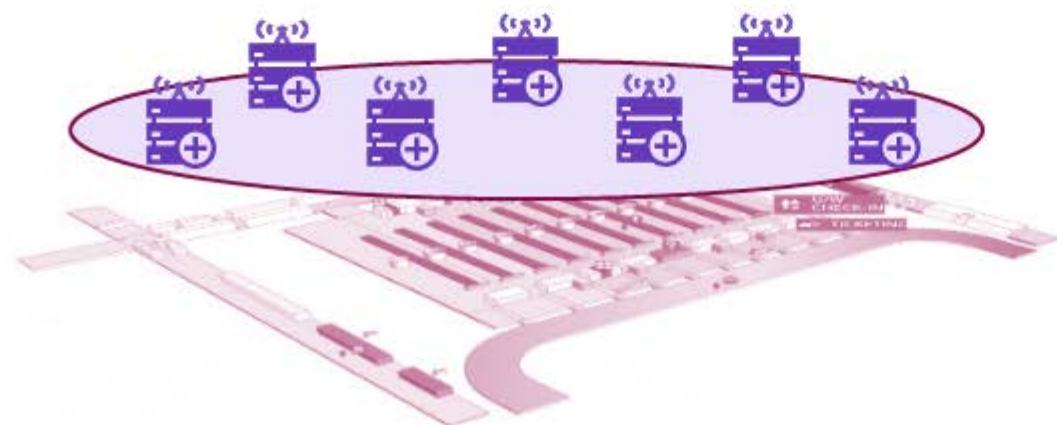
边缘计算带来的改变 (5)

■ 服务形式多样化

- 不同于云计算环境中的数据中心网络，边缘计算的服务器可以是各种具备相对的资源优势和较低的连接延迟设备。

■ 对移动性高度敏感

- 由于边缘计算服务于单跳连接的用户，而单跳的通信范围通常十分有限，使得边缘计算对于用户移动具有高度敏感的特性。
- 一方面，用户的移动性会影响到无线传输质量；另一方面，高速移动的用户很有可能在多个边缘服务器之间进行切换。



边缘计算带来的改变 (6)

■ 隐私保护

- 由于数据保存在靠近用户的边缘设备，从网络结构上降低甚至杜绝了用户数据与其他网络实体的连通性。
- 加密和隐私保护算法在边缘计算服务上的应用。
- 数据传输延迟的降低，允许新型的保护隐私的计算模式和更加复杂的加密算法。

提纲

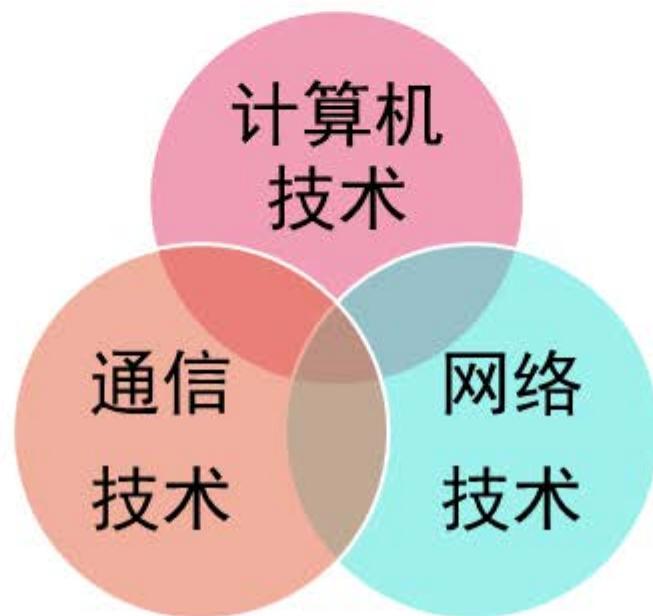
- ▶ 课程简介
- ▶ 边缘计算概念
- ▶ 边缘计算发展脉络和历史必然
- ▶ 边缘计算的重要意义
- ▶ 领域关键问题
- ▶ 发展趋势和技术挑战

边缘计算发展脉络和历史必然

- 边缘计算出现的背景
- 计算形态变革的逻辑
- 边缘计算将深刻改变计算方式

边缘计算出现的背景

边缘计算在计算机技术、通信技术以及二者融合的网络技术的共同作用之下逐步形成。



边缘计算出现的背景（1）

▶ 计算机技术发展历程

- 大型计算机
- 个人计算机
- 智能手机及可穿戴设备
- 智能万物
- 后摩尔定律时代

摩尔定律：由Intel创始人之一的戈登·摩尔提出，指集成电路上可容纳的晶体管数目，每隔两年便会增加一倍（常被引用的“每18个月”版本是由原Intel CEO大卫·豪斯提出）。

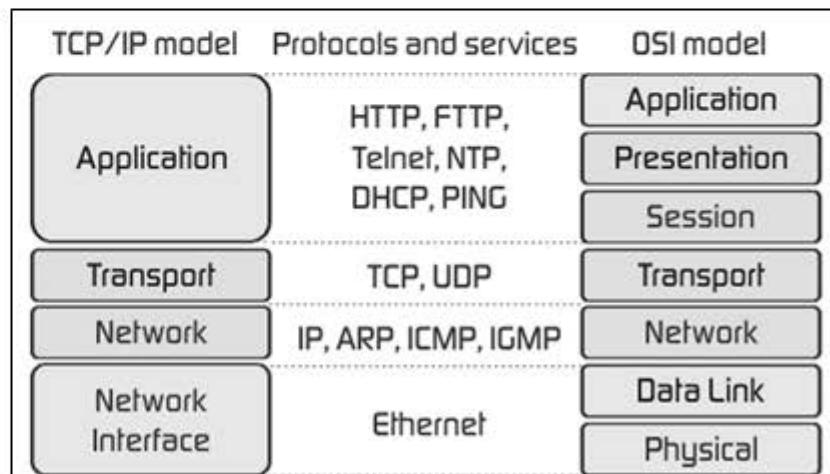
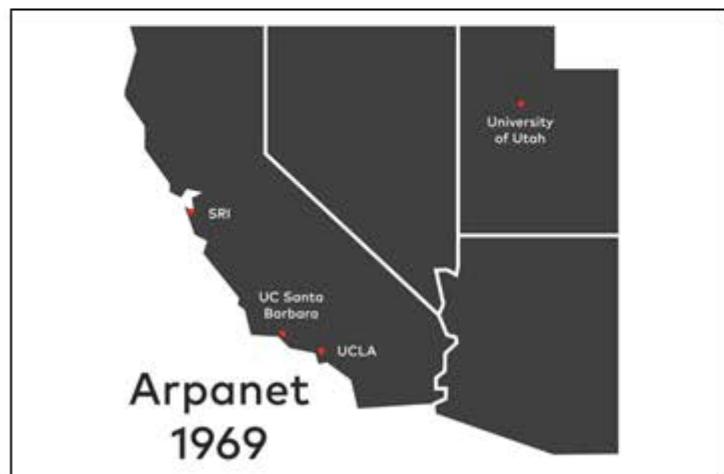


边缘计算出现的背景 (2)

▶ 计算机网络技术发展历程

■ ARPANET与TCP/IP

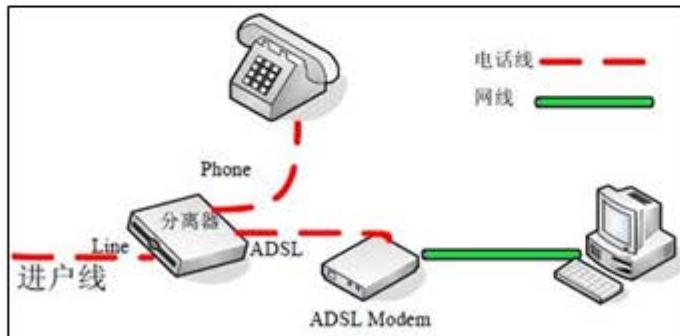
- ARPANET被称作是互联网的前身，是美国国防高级研究计划局开发的世界上第一个运营的数据包交换网络。
- TCP/IP协议解决不同设备、不同网络连接的问题。



计算机网络技术发展历程

■ 宽带互联网

- 最初，计算机是通过电话线拨号的窄带方式接入到互联网。
- 宽带的出现，将网速大幅提升。
- 随着光纤网络的普及，互联网的网络带宽正式进入到千兆时代。



计算机网络技术发展历程

■ 移动互联网

- 移动互联网则是在智能移动手机、电信网络的共同演化之下发展出来的业务模式。



边缘计算出现的背景（3）

▶ 计算需求随技术发展产生的变化

■ 军事场景的大型科学运算

- 大量先进技术的出现最初均是用于军事用途，计算机也不例外。即便是ARPANET的提出，虽然是为了便于资源共享，也具有相当程度的军事需求。

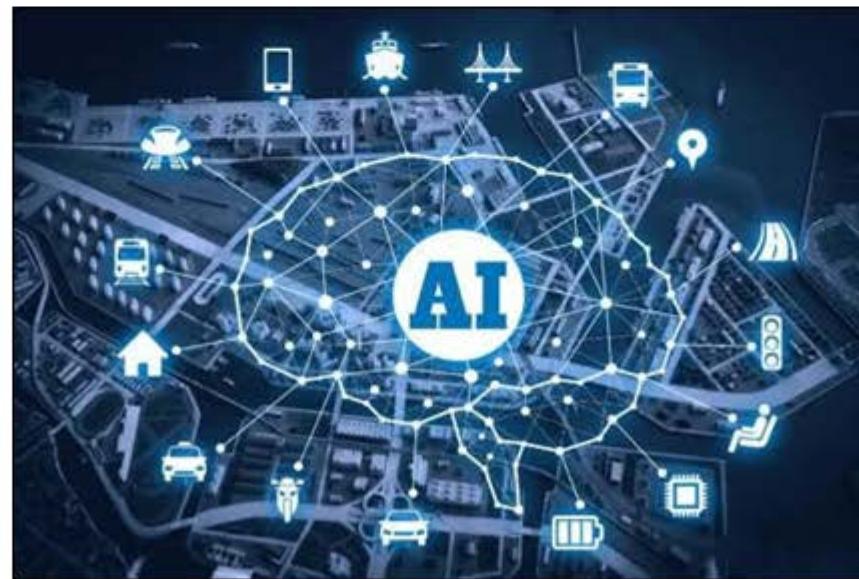
■ 办公与数据存储

- 在个人电脑时代初期，计算机主要被用于处理办公文档和统计报表。
- 随着可视化操作系统的出现以及存储器成本的降低，计算机用途开始不断扩展。但是只能在本地进行计算。
- 个人计算机普及、互联网出现之后，更多物理世界中的信息交流需求被转移到了数字世界。

计算需求随技术发展产生的变化

■ 人工智能业务

- 当人类的生活生产活动开始产生大量的数据，随之而来的，就是如何利用大数据实现“智能化”。
- 人们对于人工智能业务的需求也开始增长。而人工智能算法通常需要大量的数据和持续的模型训练，进而促进了云计算的发展。



■ 社交网络、音视频流媒体业务

- 在宽带网络普及之后，网络化的计算需求大量涌现，促进了计算机和计算模式朝网络化的方向持续发展。
- 当有线网进入到光纤宽带、无线网络进入到3G/4G时代时，随着智能手机的普及，网络化的计算需求被进一步放大。

■ 计算需求的变化：万变不离其宗

- 计算形态的进化过程呈现出一种“集中-分布-集中-再分布”的模式。
- 这是由于计算模式的驱动是在以“满足人类无处不在的高质量计算需求”为目标、计算需求与运算成本、网络成本不断螺旋变化的因素驱动下而产生的。



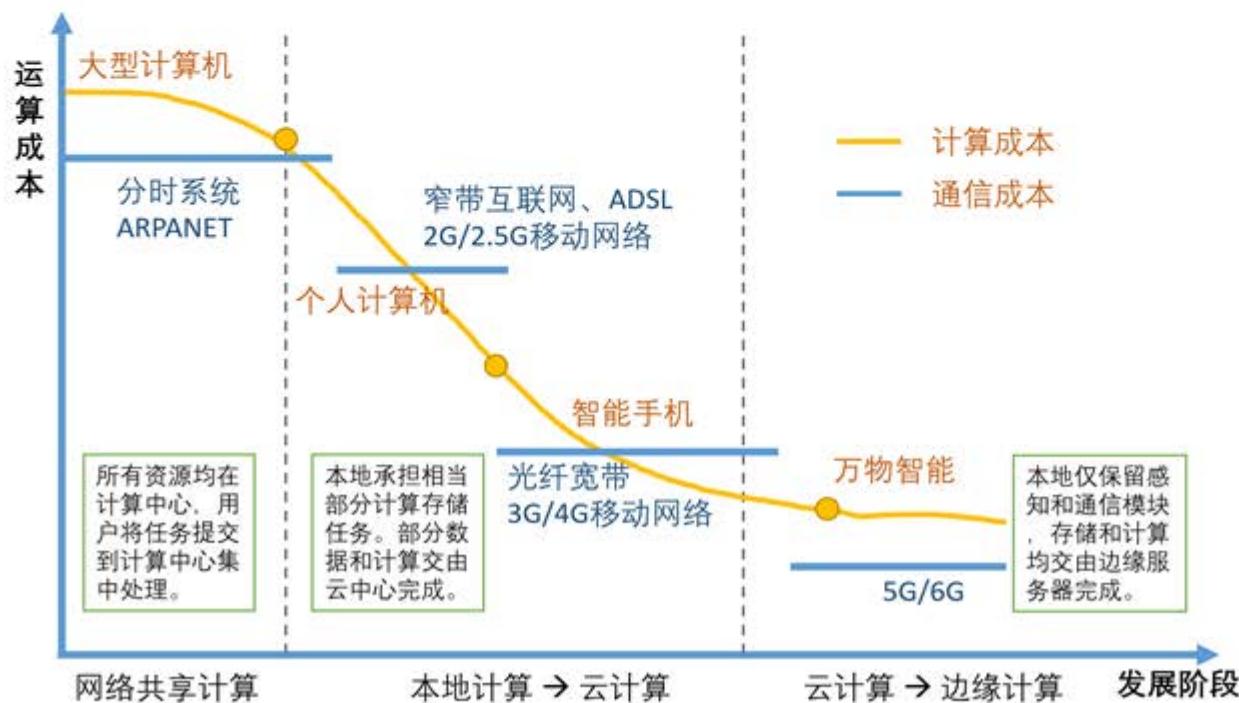
计算形态会不会再
次变为集中式？

边缘计算发展脉络和历史必然

- 边缘计算出现的背景
- 计算形态变革的逻辑
- 边缘计算将深刻改变计算方式

计算形态变革的逻辑

以不断地将硬件负担远离用户，不断地将计算服务贴近用户的原则，可以大致将计算机出现至今的这段时间划分为三个阶段：共享计算；本地计算到云计算；云计算到边缘计算。



计算形态变革的逻辑（1）

▶ 第一阶段：共享计算模式

- 共享计算模式中，通过分时系统批处理、ARPANET等方式将用户任务汇聚到大型机上进行集中处理。
- 个人计算机的出现使得计算形态从"共享计算"的方式快速进入到"本地运算"的形态。

▶ 第二阶段：云计算

- 随着通信网络技术的发展，部分数据开始通过Web的方式共享。数据量较大的计算任务从本地走向云端。此时仍有部分对于计算实时性要求较高的计算业务在本地执行。
- 在第二阶段，在整体上形成了"本地与云计算混合"的计算模式。

计算形态变革的逻辑（2）

▶ 第三阶段：边缘计算/雾计算

- 超低的网络通信延迟一方面是通信技术的革新，另一方面也是由于用户和服务器之间的距离被拉进。
- 随着物联网技术的爆发，计算需求持续指数级增长，无法全部由云计算来实现。
- 通过广泛的边缘服务器部署承接绝大部分计算任务。



计算形态变革的逻辑（3）

▶ 为什么一定是边缘计算的形态？

- 传统集中式云存储云计算方式不可持续
 - 数据的集中导致了计算的集中。为计算过程带来不必要的延迟开销，同时增加网络的流量承载压力，造成了大量的能源浪费。
- 历史机遇：5G与物联网的需求形成合力
 - 一方面可以显著降低数据传输的延迟，另一方面可以分散处理海量计算需求，减轻计算压力。
 - 5G、WiFi6等技术的发展，使得前端设备的单跳延迟可以降到10毫秒以内，有望进一步催生各类实时计算服务。

边缘计算发展脉络和历史必然

- ▶ 边缘计算出现的背景
- ▶ 计算形态变革的逻辑
- ▶ 强势崛起：边缘计算将深刻改变计算方式

▶ 边缘计算概念的演化及发展趋势

- 边缘计算 (Edge Computing) 早在21世纪伊始就已经存在了。
- 彼时的网络边缘定义更加接近于内容分发网络 (CDN) 的延伸

Home > Enterprise Applications

Apps on the edge

Moving applications from the datacenter to the edge has its challenges -- but a layer of business logic is already making its way to the network perimeter



By [David Marquilius](#)

InfoWorld | MAY 23, 2002 6:07 PM PST

WILL MISSION-CRITICAL enterprise business logic someday reside on distributed application infrastructures rather than in corporate datacenters and thus span the globe to deliver improved performance? A recent flurry of announcements has put a spotlight on "edge computing" as the newest entrant in the race toward distributed computing, alongside grid computing, peer-to-peer architectures, and Web services.

▶ 内涵外延

- 边缘计算自从2003年由IBM和Akamai共同提出以来，期间由不同的角色展开了不同的解读和发展。这些不同的面向有些类似于盲人摸象，却也有助于我们更全面的理解边缘计算的内涵和外延。

IBM and Akamai boost J2EE app development

IBM and Akamai Technologies have developed software that will make it easier for users of Akamai's computing platform to deploy...

Published: 12 Dec 2003 16:52

IBM and Akamai Technologies have developed software that will make it easier for users of Akamai's computing platform to deploy Java 2 Enterprise Edition (J2EE) web applications written using IBM's WebSphere software.

In May, the two companies announced a joint product called EdgeComputing Powered by WebSphere, which lets developers run WebSphere-developed applications on Akamai's network of more than 14,000 edge servers, on a pay-per-use basis.

Latest News

T-Mobile targets post-pandemic workplace with remote working suite

Connectivity the 'unsung hero' of the future of work

Williams F1 car launch disrupted by data leak

[View All News](#)

▶ 技术发展趋势

- 边缘计算（Edge Computing）自2017年开始连续上榜，并且其发展阶段逐渐从创新驱动进入到极大期望的阶段。
- 伴随着5G技术的发展与成熟，边缘计算从最初较为泛化的概念衍生各种细分领域。

年份	关键词	所处位置	达到平稳时间
2017	Edge Computing	Innovation trigger	2-5年
2018	Edge AI	Innovation trigger	5-10年
2019	Edge AI/Analytics	Peak of inflated expectations	2-5年
2020	Low-cost single-board computers at edge	innovation trigger	2-5年

▶ 学术研究

- 近年来随着边缘计算研究的兴起，越来越多的科研文章被发表出来。笔者根据近5年SCI刊源统计了边缘计算作为关键词的文章数量变化，可以看到边缘计算的研究成果数量几乎是“拔地而起”。

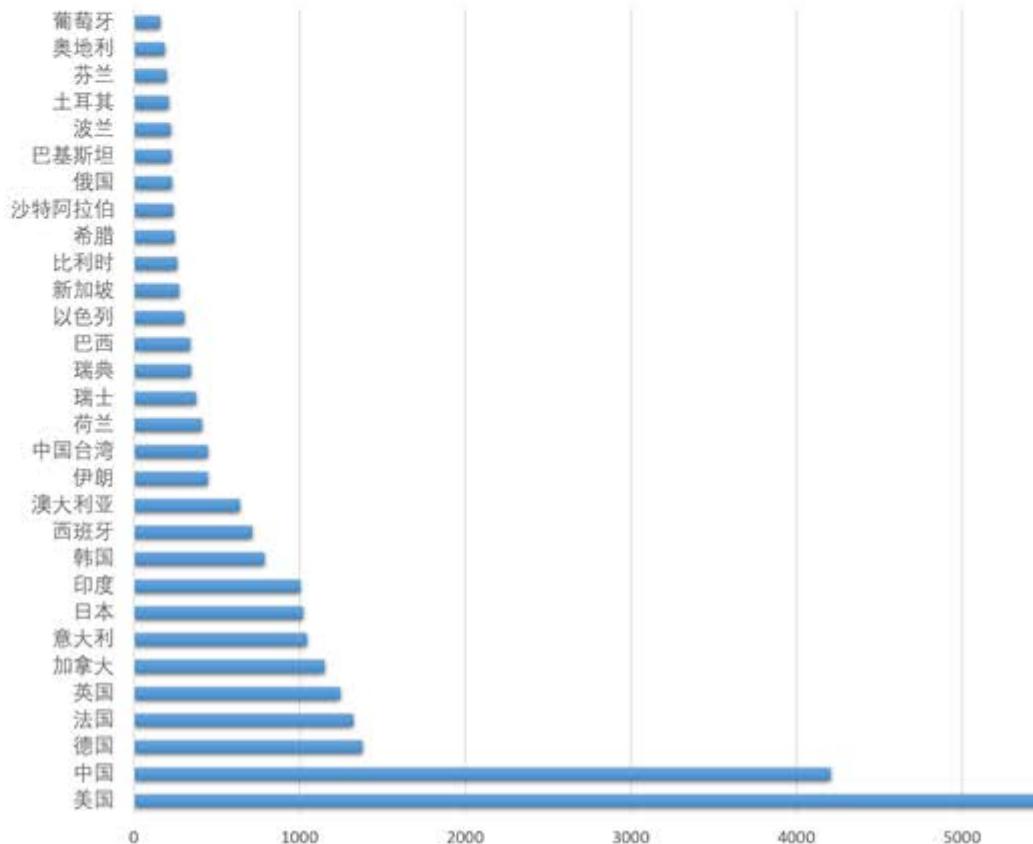
2015	2016	2017	2018	2019
600+	1200+	2000+	3100+	5000+

近五年边缘计算相关学术论文数量变化(IEEE)

▶ 国家战略

- 各个国家对于电信网络产业的国家战略，均不同程度的促进了边缘计算的发展。边缘计算在其中则扮演了设备、系统和决策之间润滑剂的角色。

边缘计算相关研究近5年来源国家



标志性事件

- ▶ 2003年：Akamai Edge Computing Powered by WebSphere。
- ▶ 20世纪：Amazon为代表的云技术快速普及。
- ▶ 2008年：明确提出了Cloudlet的概念。
- ▶ 2012年：提出了Fog Computing（雾计算）的概念。
- ▶ 2013年：ESTI定义Mobile Edge Computing（移动边缘计算）。
- ▶ 2015年：OpenFog开放雾计算联盟成立。
- ▶ 2016年：专注于边缘计算的国际高水平学术会议成立。
- ▶ 2017年：边缘计算产业联盟在北京成立。
- ▶ 2018年：ESTI将MEC的解释由移动边缘计算调整为多接入边缘计算。
- ▶ 2019年：边缘计算产业联盟（ECC）与绿色计算产业联盟（GCC）联合发布。
- ▶ 2020 年卫星边缘计算等面向场景的边缘计算产品和系统开始涌现。

提纲

- ▶ 课程简介
- ▶ 边缘计算概念
- ▶ 边缘计算发展脉络和历史必然
- ▶ 边缘计算的重要意义
- ▶ 领域关键问题
- ▶ 发展趋势和技术挑战

边缘计算的重要意义 (1)

▶ 赋能万物

- 无处不在的计算即称为泛在计算，而边缘计算则是通过大量部署算力来实现泛在计算的重要手段。
- 低功耗嵌入式芯片、传感器和低功耗无线传输技术是给万物赋予“感知”和“沟通”的能力，而边缘计算则是进一步赋予万物“思考”的能力。



边缘计算的重要意义 (2)

▶ 提升体验，降低能耗

- 在物联网时代，各类物联设备的大幅增长直接导致传感及控制数据将会爆炸性增长。



边缘计算的重要意义（3）

▶ 进一步改变人类的生产生活方式

- 边缘计算的普及将能够催生大量的新型计算业务，对传统的生产生活方式产生重大影响。边缘计算可以使前端设备仅保留传感器与通信模块，实现真正意义上的“透明计算”。

▶ 大幅提升计算服务的安全性

- 边缘计算中，数据传递通常是一跳，或经历极短的网络路径，收到大规模攻击的概率也相对较低。
- 边缘服务器完全可以是用户自主拥有的，避免了数据与远程服务器的直接接触。
- 各类隐私保护的计算方法也因为边缘计算较低的延迟得以具有更广阔的应用前景。

提纲

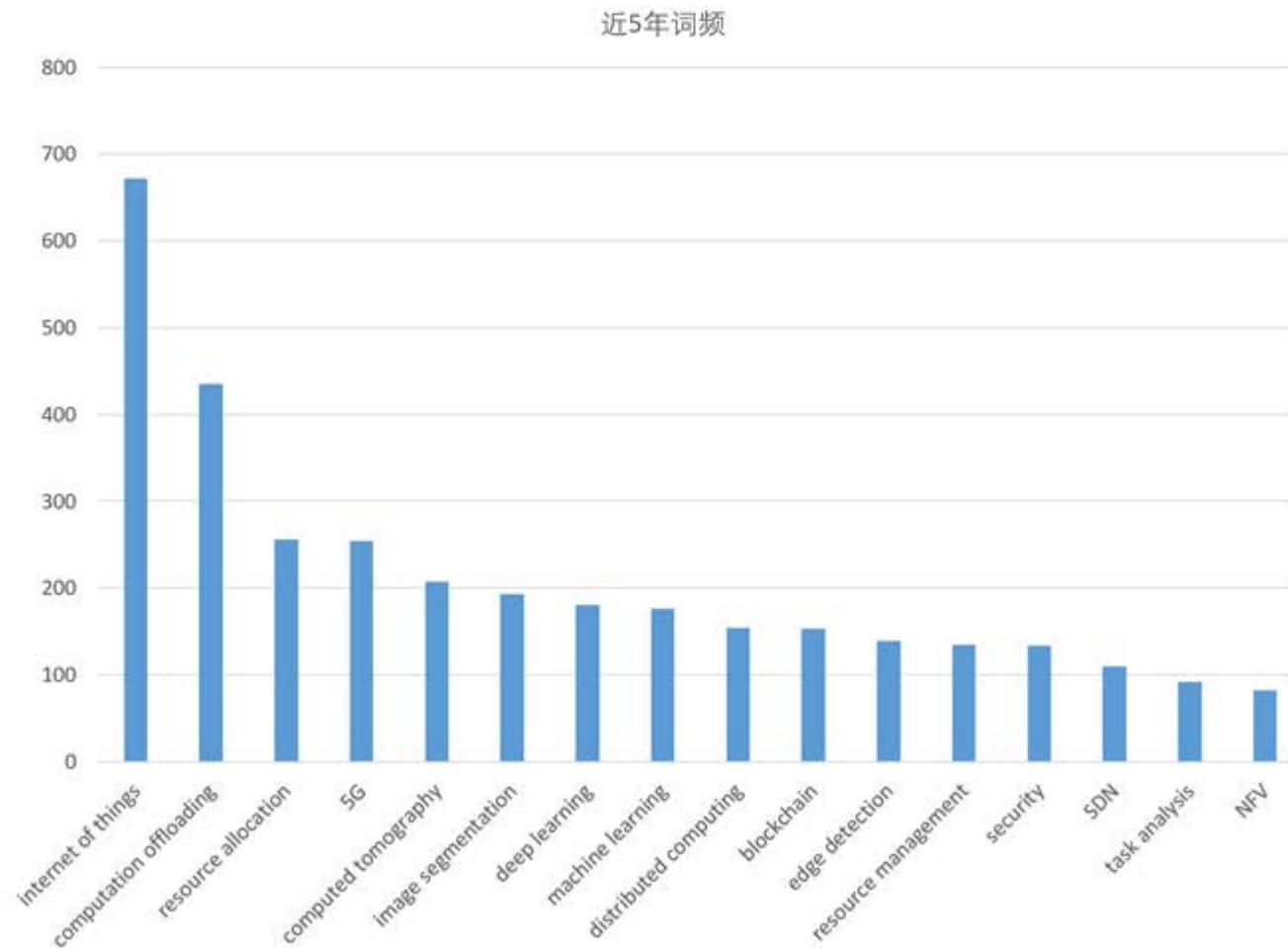
- ▶ 课程简介
- ▶ 边缘计算概念
- ▶ 边缘计算发展脉络和历史必然
- ▶ 边缘计算的重要意义
- ▶ 领域关键问题
- ▶ 发展趋势和技术挑战

边缘计算中的关键问题

- ▶ 关键词
- ▶ 研究问题概览
- ▶ 边缘计算架构
- ▶ 操作系统与编程模型
- ▶ 虚拟化与服务管理
- ▶ 服务集群管理
- ▶ 人工智能与大数据算法
- ▶ 移动性管理
- ▶ 系统与应用

关键词 (1)

我们通过分析在IEEE/ACM/USENIX等主流学术机构上发表的边缘计算相关论文的关键词，可以得到如下图：



关键词 (2)

▶ 物联网+边缘计算

- 物联网在边缘计算的相关研究论文中成为热词的第一名。
- 一方面，需要解决物联网设备如何以低成本的方式接入到边缘计算；另一方面，也需要解决边缘计算如何应对物联网服务海量、异构、动态的特点。

▶ 5G+边缘计算

- 5G技术的发展降低通信延迟，使更多的计算转移到边缘服务器上。需要在现有的云计算集群架构基础之上进行改进，以适应实时性高、数据密集、高移动性、异构动态的5G移动服务需求。

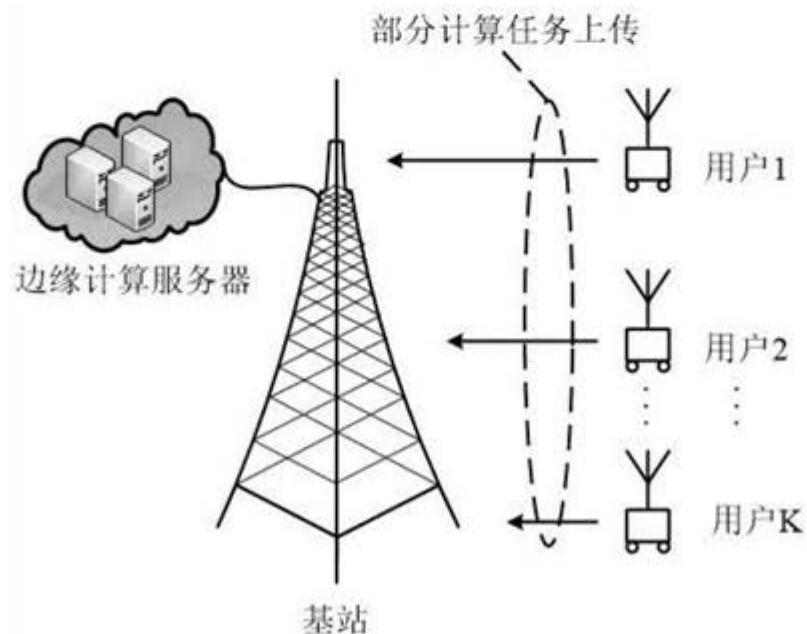
▶ 虚拟化技术

- 边缘计算所服务的计算请求是高度异构的。使用虚拟化技术对不同的网络功能进行灵活管理。
- 相比于传统云计算，边缘计算的虚拟化技术的延迟要求较高，且要求对资源的消耗更小。

关键词 (3)

▶ 计算卸载

- 边缘计算中的计算卸载是指将计算任务从前端设备转移到边缘服务器上运行，任务执行完毕之后边缘服务器再将计算结果返回到前端设备或按照要求传递到云服务器。



关键词 (4)

▶ 资源分配

- 不同于云计算数据中心，边缘计算更加接近于前端用户，其运行的服务和配备的资源具有较强的针对性，不同边缘服务器上的资源具有较强的异构性，这使得边缘计算中的资源分配问题变得极具挑战性。

▶ 面向物联网的边缘系统

- 边缘计算的提出并未针对特定的应用场景，更多起到的是类似于内容分发网络（CDN）的作用，减少应用的访问延迟。

关键词 (5)

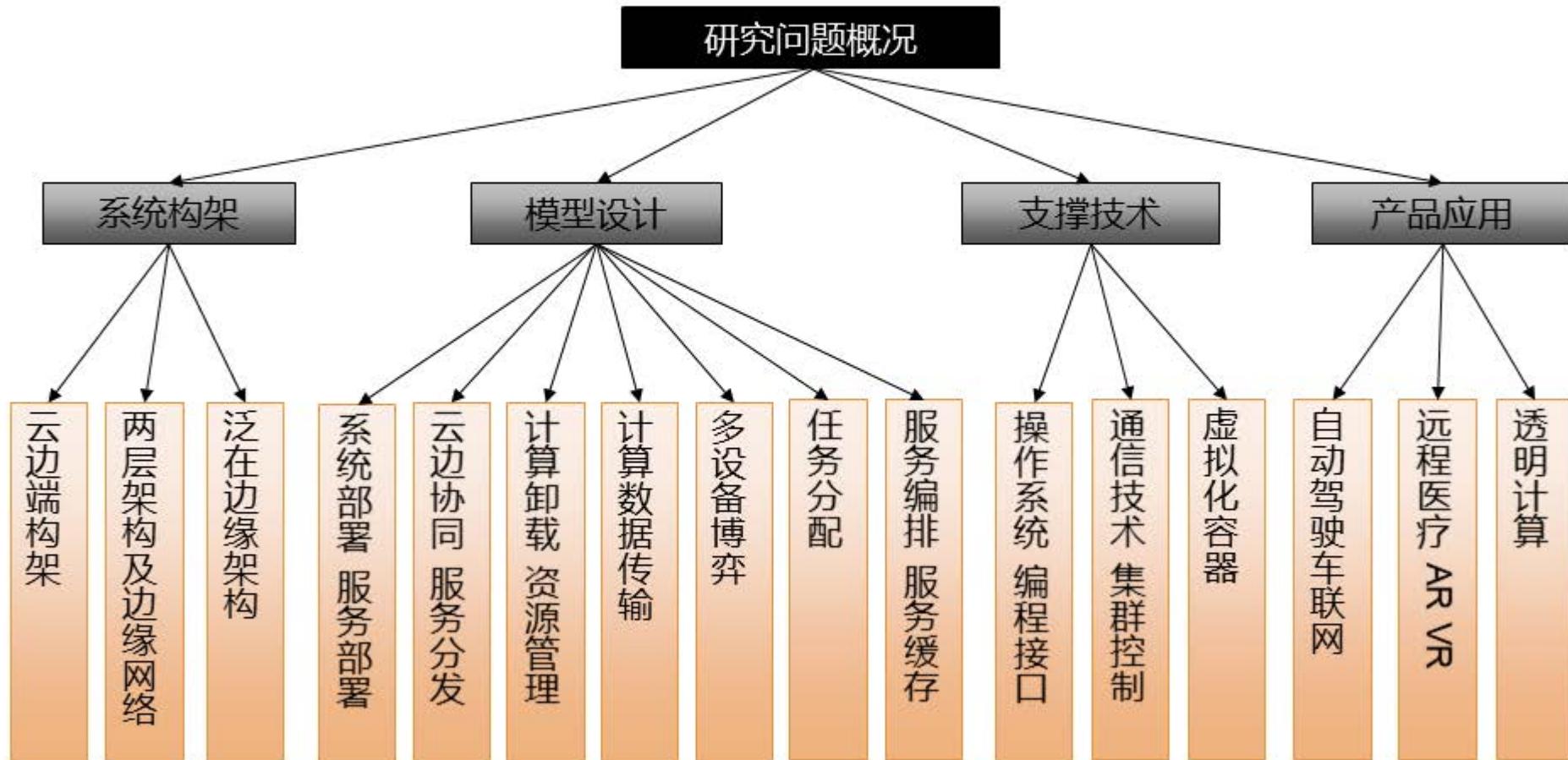
▶ 边缘计算与人工智能算法

- 基于边缘计算的人工智能算法相比于传统的人工智能算法，系统架构的变化带来了多设备之间的协同问题。
- 基于人工智能的边缘系统优化，利用人工智能算法，和边缘计算系统过程产生的数据，对边缘系统本身进行优化和决策。



边缘计算中的关键问题

- ▶ 关键词
- ▶ 研究问题概览
- ▶ 边缘计算架构
- ▶ 操作系统与编程模型
- ▶ 虚拟化与服务管理
- ▶ 服务集群管理
- ▶ 人工智能与大数据算法
- ▶ 移动性管理
- ▶ 系统与应用



边缘计算中的关键问题

- ▶ 关键词
- ▶ 研究问题概览
- ▶ 边缘计算架构
- ▶ 操作系统与编程模型
- ▶ 虚拟化与服务管理
- ▶ 服务集群管理
- ▶ 人工智能与大数据算法
- ▶ 移动性管理
- ▶ 系统与应用

边缘计算构架

▶ “云-边-端”

- 前端设备发起服务请求，一部分将在边缘服务器上直接执行；另一部分，通过边缘服务器继续访问云服务器，执行相应的计算任务。

▶ “边-端”

- 当边缘服务器部署的足够广泛且计算与存储资源十分充沛时，云服务就可以完全下拉到边缘服务器上，形成边和端两层架构。

边缘计算中的关键问题

- ▶ 关键词
- ▶ 研究问题概览
- ▶ 边缘计算架构
- ▶ 操作系统与编程模型
- ▶ 虚拟化与服务管理
- ▶ 服务集群管理
- ▶ 人工智能与大数据算法
- ▶ 移动性管理
- ▶ 系统与应用

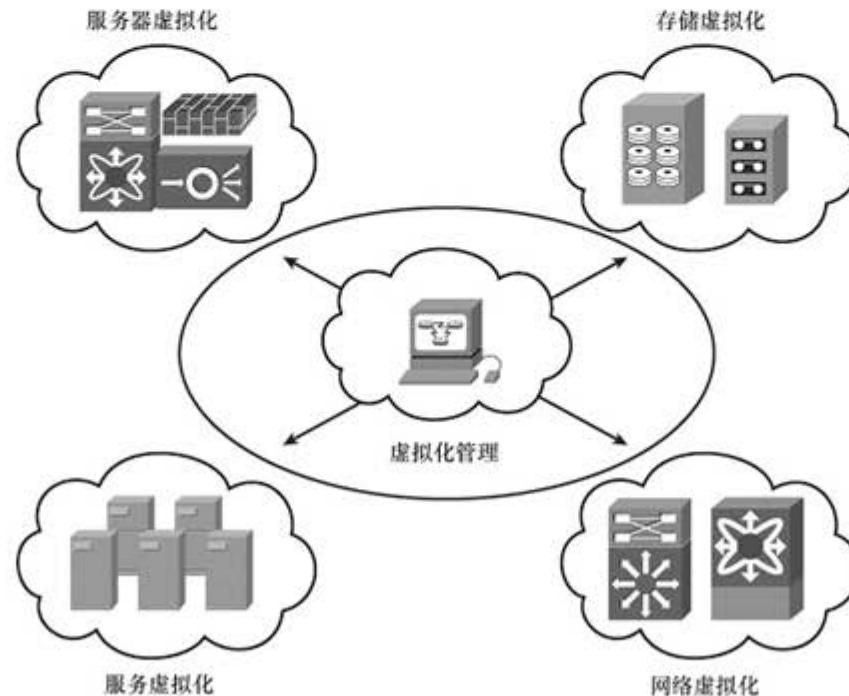
操作系统与编程模型

- ▶ 现有边缘计算的场景当中，多数计算卸载的过程并非是通过操作系统层面进行的，而是多个应用“各自为战”。
- ▶ 边缘计算亟需一套完整操作系统和编程模型。将边缘计算卸载这一过程从程序设计过程当中抽离出来，融合进操作系统当中。
- ▶ 计算卸载与资源分配
 - 在计算卸载过程中需要考虑：当前是在本地运算还是需要卸载部分计算任务至边缘服务器进行运算？如果需要计算卸载，具体要卸载哪些计算任务？当有多个边缘计算服务器可供选择时，应当将哪些任务卸载至何处？
 - 资源分配则主要指服务端应当如何管理多个同时运行的边缘服务，这对于充分利用边缘服务器资源、保障各种网络条件下稳定的服务质量具有至关重要的意义。

边缘计算中的关键问题

- ▶ 关键词
- ▶ 研究问题概览
- ▶ 边缘计算架构
- ▶ 操作系统与编程模型
- ▶ 虚拟化与服务管理
- ▶ 服务集群管理
- ▶ 人工智能与大数据算法
- ▶ 移动性管理
- ▶ 系统与应用

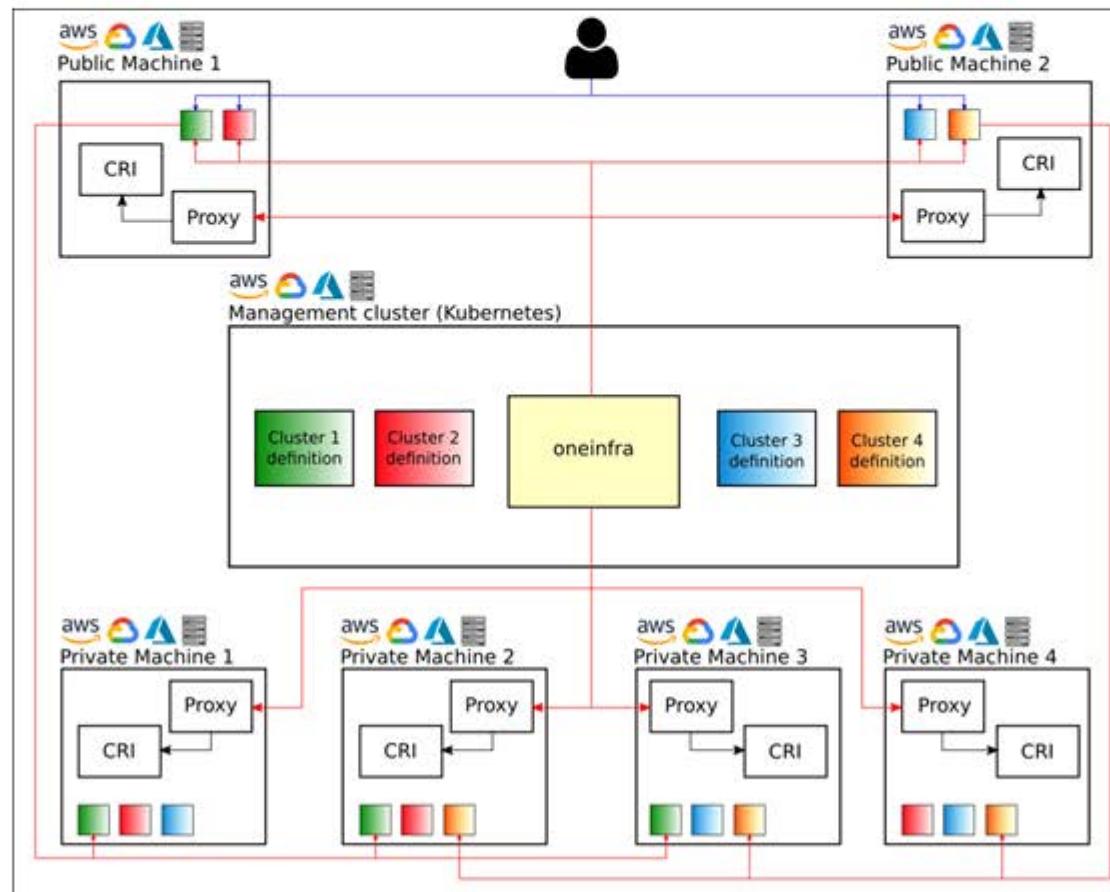
虚拟化技术能够将复杂专用的网络功能在通用的计算资源上实现，从而实现计算资源和计算服务的自动化管理，通过灵活的服务控制策略极大地降低网络管理成本、提升资源利用率和服务质量。



边缘计算中的关键问题

- ▶ 关键词
- ▶ 研究问题概览
- ▶ 边缘计算架构
- ▶ 操作系统与编程模型
- ▶ 虚拟化与服务管理
- ▶ 服务集群管理
- ▶ 人工智能与大数据算法
- ▶ 移动性管理
- ▶ 系统与应用

通过边缘服务集群的方法，将边缘服务器连接组成边缘服务器网络，整合多个边缘服务器的计算与通信资源，为前端用户提供统一的服务。



边缘计算中的关键问题

- ▶ 关键词
- ▶ 研究问题概览
- ▶ 边缘计算架构
- ▶ 操作系统与编程模型
- ▶ 虚拟化与服务管理
- ▶ 服务集群管理
- ▶ 人工智能与大数据算法
- ▶ 移动性管理
- ▶ 系统与应用

- ▶ 在边缘服务器上难以运行计算量庞大的人工智能算法。同时，由于边缘计算服务器通常直接与用户相连，涉及一定的用户隐私问题。
- ▶ 为此，针对边缘计算场景，研究者提出了一系列工作来提升机器学习算法的运行效率和隐私保护特性。

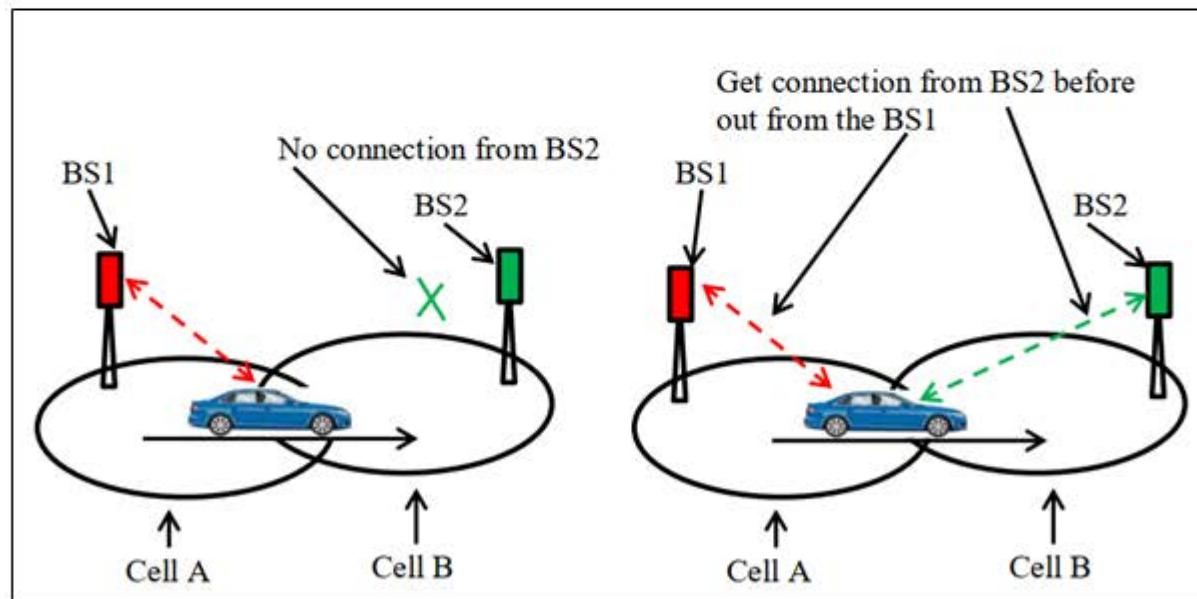


边缘计算中的关键问题

- ▶ 关键词
- ▶ 研究问题概览
- ▶ 边缘计算架构
- ▶ 操作系统与编程模型
- ▶ 虚拟化与服务管理
- ▶ 服务集群管理
- ▶ 人工智能与大数据算法
- ▶ 移动性管理
- ▶ 系统与应用

移动性管理

- ▶ 边缘计算的低延迟、轻量级、高可靠等要求均与用户的移动性相关。
- ▶ 关于移动性的研究，主要集中在多个边缘服务器协同、以及边缘服务的移动性感知管理（**Mobility-aware service management**）上。

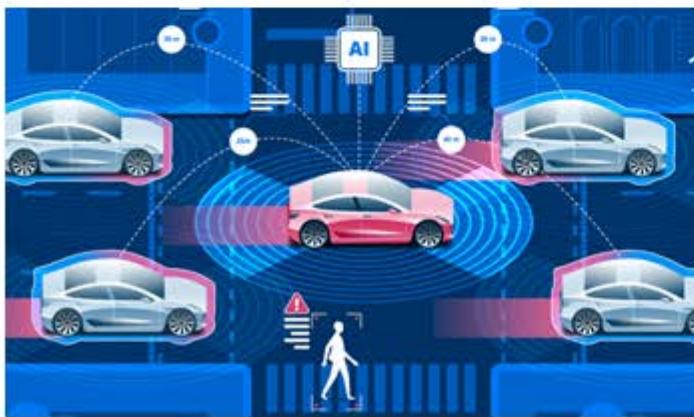


边缘计算中的关键问题

- ▶ 关键词
- ▶ 研究问题概览
- ▶ 边缘计算架构
- ▶ 操作系统与编程模型
- ▶ 虚拟化与服务管理
- ▶ 服务集群管理
- ▶ 人工智能与大数据算法
- ▶ 移动性管理
- ▶ 系统与应用

系统与应用

- ▶ AR/VR
- ▶ 智慧医疗
- ▶ 智慧家庭网关
- ▶ 自动驾驶网络



提纲

- ▶ 课程简介
- ▶ 边缘计算概念
- ▶ 边缘计算发展脉络和历史必然
- ▶ 边缘计算的重要意义
- ▶ 领域关键问题
- ▶ 发展趋势和技术挑战

发展趋势与技术挑战

- ▶ 发展趋势
- ▶ 存在挑战与发展机遇
- ▶ 关键机构与成果

发展趋势

▶ 云计算的下沉：提升资源效率与服务质量

- 该方向研究工作主要由云计算的科研与产业机构发起，旨在**基于云计算方面的技术积累打通边缘计算架构中的各个环节**，并最终实现类似于云服务的边缘服务。

▶ 物联网的增强：应对资源限制及定制化要求

- 该方向研究工作主要由物联网相关的科研与产业机构发起，旨在利用边缘计算**增强各类物联网系统的算力**，持续丰富物联网系统的产品形态和生态。

发展趋势与技术挑战

- ▶ 发展趋势
- ▶ 存在挑战与发展机遇
- ▶ 关键机构与成果

存在挑战与发展机遇

▶ 前端爆炸导致的自适应设计问题

▶ 应用开发与管理

每个边缘设备类似于手机安装app，会面临爆炸问题

▶ 交互和计算的分离

▶ 感知、控制和计算的分离

▶ 免安装app

▶ 编程工具接管跨平台

发展趋势与技术挑战

- ▶ 发展趋势
- ▶ 存在挑战与发展机遇
- ▶ 关键机构与成果

关键机构与成果（1）

科研机构名称	研究领域	代表成果	访问地址
开放边缘计算倡议组(Open Edge Computing Initiative)	边缘系统架构、技术标准、领域发展	整合学术界与工业界若干倡议与系统	https://www.openedgecomputing.org/
卡耐基梅隆大学	边缘计算系统	Gabriel平台	http://elijah.cs.cmu.edu/
美国韦恩州立大学	边缘计算及自动驾驶网络	边缘计算书和综述	https://www.thecarlab.org/
哈佛大学	边缘机器学习框架	Tiny Machine Learning	https://sites.google.com/g.harvard.edu/tinyml/home
微软	云和边缘计算模型与系统	边缘流量工程	https://www.microsoft.com/en-us/research/group/mobility-and-networking-research/
电子科技大学	卫星边缘计算	低轨边缘AI星河工程	https://www.uestc.edu.cn/
华中科技大学	虚拟化技术	高性能虚拟化	https://grid.hust.edu.cn
中国科学院大学	体系结构操作系统	物端及分布式操作系统	http://www.things.ac.cn/
威斯康星大学麦迪逊分校	边缘操作系统	Paradrop	https://paradrop.org/
土耳其博阿齐奇大学	边缘仿真系统	EdgeCloudSim	https://github.com/CagataySonmez/EdgeCloudSim

关键机构与成果（2）

公司机构名称	产品类型	产品系统	访问地址
微软	边缘计算网关	Azure Percept	https://azure.microsoft.com/en-us/services/azure-percept/
Linux基金会	边缘操作系统	EdgeX Foundry	https://www.edgexfoundry.org
Docker	虚拟化及管理	Docker, Moby	https://www.docker.com
Google	服务管理	K8S, K3S	https://kubernetes.io
Ubiquiti Networks	边缘网关 边缘操作系统	EdgeRouter, EdgeOS	https://www.ui.com/products/#edge
百度	边缘操作系统	OpenEdge	https://openedge.tech
阿里	前端操作系统	AliOS Things	https://aliosthings.io
华为	前端操作系统 边缘服务管理	LiteOS, KubeEdge	https://github.com/LiteOS https://github.com/kubeedge
谷歌	前端操作系统	Android Things	https://developer.android.com/things
亚马逊	前端操作系统	GreenGrass	https://aws.amazon.com/greengrass/
格力	边缘嵌入式芯片	Edgeless EAI 边缘嵌入式芯片	https://www.cnx-software.com/2020/04/01/edgeless-eai-series-dual-arm-cortex-m4-mcu-features-a-300-gops-cnn-npu/

本章小测

- ▶ 什么是边缘计算
- ▶ 简述计算形态的发展变化过程及其内在逻辑
- ▶ 边缘计算与云计算、物联网的关系
- ▶ 边缘计算的关键问题和研究方向
- ▶ 列举3个边缘计算的应用场景，并与传统方式相对比