概述

什么是边缘计算

边缘计算指的是在网络边缘结点来处理、分析数据。边缘计算指的就是在数据产生源附近分析、处理数据，没有数据的流转，进而减少网络流量和响应时间。

为什么需要边缘计算

云服务的推动：云中心具有强大的处理性能，能够处理海量的数据。但是，将海量的数据传送到云中心成了一个难题。云计算模型的系统性能瓶颈在于网络带宽的有限性，传送海量数据需要一定的时间，云中心处理数据也需要一定的时间，这就会加大请求响应时间，用户体验极差。

物联网的推动：现在几乎所有的电子设备都可以连接到互联网，这些电子设备会后产生海量的数据。传统的云计算模型并不能及时有效的处理这些数据，在边缘结点处理这些数据将会带来极小的响应时间、减轻网络负载、保证用户数据的私密性。

终端设备的角色转变：终端设备大部分时间都在扮演数据消费者的角色，比如使用智能手机观看爱奇艺、刷抖音等。然而，现在智能手机让终端设备也有了生产数据的能力，比如在淘宝购买东西，在百度里搜索内容这些都是终端节点产生的数据。

边缘计算对于云计算，就好比脊髓对于大脑，边缘计算反应速度快，无需云计算支持，但智能程度较低，不能够适应复杂信息的处理。

边缘计算的优势

（1）实时数据处理和分析。将原有云计算中心的计算任务部分或全部迁移到网络边缘，在边缘设备处理数据，而不是在外部数据中心或云端进行；因此提高了数据传输性能，保证了处理的实时性，同时也降低了云计算中心的计算负载。

（2）安全性高。传统的云计算模型是集中式的，这使得它容易受到分布式拒绝服务供给和断电的影响。边缘计算模型在边缘设备和云计算中心之间分配处理、存储和应用，使得其安全性提高。边缘计算模型同时也降低了发生单点故障的可能性。

（3）提升数据安全性。边缘计算模型是在本地设备上处理数据而不是将其上传至云计算中心，因此边缘计算可以保护隐私数据，还可以减少实际存在风险的数据量。即使设备受到攻击，它也只会包含本地收集的数据，而不是受损的云计算中心。

（4）可扩展性。边缘计算允许公司通过物联网设备和边缘数据中心的组合来扩展其计算能力。使用具有处理能力的物联网设备还可以降低扩展成本，因此添加的新设备都不会对网络产生大量带宽需求。

（5）位置感知。边缘分布式设备利用低级信令进行信息共享。边缘计算模型从本地接入网络内的边缘设备，接收信息以发现设备的位置。例如导航，终端设备可以根据自己的实时位置把相关位置信息和数据交给边缘节点来进行处理，边缘节点基于现有的数据进行判断和决策。

（6）低流量。本地设备收集的数据可以进行本地计算分析，或者在本地设备上进行数据的预处理，不必把本地设备收集的所有数据上传至云计算中心，从而可以减少进入核心网的流量。

发展

2015年以前，技术储备期，边缘计算处于原始技术积累阶段；2015—2017年，快速增长期，边缘计算开始被业内熟知，与之相关的论文增长了10余倍，得到了飞速发展；2018 年后边缘计算开始稳健发展

技术储备期

在此阶段，边缘计算历经“蛰伏一提出一定义一推广”等发展过程.

边缘计算最早可以追溯至1998年Akamai公司提出的内容分发网络( content delivery network，CDN)，CDN 是一种基于互联网的缓存网络，依靠部署在各地的缓存服务器，通过中心平台的负载均衡 、内容分发、调度等功能模块，将用户的访问指向最近的缓存服务器上，以此降低网络拥塞，提高用户访问响应速度和命中率。CDN强调内容(数据）的备份和缓存，而边缘计算的基本思想则是功能缓存（function cache).

2005年美国韦恩州立大学施巍松教授的团队就已提出功能缓存的概念 ，并将其用在个性化的邮箱管理服务中，以节省延迟和带宽。

2009年Satyanarayanan等人提出了Cloudlet的概念，Cloudlet 是一个可信且资源丰富的主机，部署在网络边缘，与互联网连接，可以被移动设备访问，为其提供服务，Cloudlet可以像云一样为用户提供服务，又被称为“小朵云”.此时的边缘计算强调下行，即将云服务器上的功能下行至边缘服务器，以减少带宽和时延。

随后，在万物互联的背景下，边缘数据迎来了爆发性增长，为了解决面向数据传输 、计算和存储过程中的计算负载和数据传输带宽的问题，研究者开始探索在靠近数据生产者的边缘增加数据处理的功能，即万物互联服务功能的上行。

思科公司于2012年提出了雾计算

2013年，这是现代“edge computing”的首次提出。

此时，边缘计算的涵义已经既有云服务功能的下行，还有万物互联服务的上行.

快速增长期

2015—2017年为边缘计算快速增长期，在这段时间内，由于边缘计算满足万物互联的需求，引起了国内外学术界和产业界的密切关注.

在政府层面上，2016年5月，美国自然科学基金委（National Science Foundation，NSF)在计算机系统研究中将边缘计算列为突出领域。10月，NSF举办边缘计算重大挑战研讨会。这标志着边缘计算的发展已经在美国政府层面上引起了重视.

在学术界，2016年5月，美国韦恩州立大学施巍松教授团队给出了边缘计算的一个正式定义。边缘计算是指在网络边缘执行计算的一种新型计算模型，边缘计算操作的对象包括来自于云服务的下行数据和来自于万物互联服务的上行数据，而边缘计算的边缘是指从数据源到云计算中心路径之间的任意计算和网络资源，是一个连续系统。并发表了“Edge Computing: Vision and Challenges”一文， 第1次指出了边缘计算所面临的挑战，该文在2018年底被他引650次.

2016年10月，ACM和IEEE开始联合举办边缘计算顶级会议（ACM/IEEE Symposium on Edge Computing，SEC)，这是全球首个以边缘计算为主题的科研学术会议

工业界也在努力推动边缘计算的发展，2015年 9月，欧洲电信标准化协会（ETSI)发表关于移动边缘计算的白皮书，并在2017年3月将移动边缘计算行业规范工作组正式更名为多接人边缘计算 (multi-access edge computing，MEC)。

国内边缘计算的发展速度和世界几乎同步，特别是从智能制造的角度.2016年11月，华为技术有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、中国信息通信研究院、英特尔、ARM等在北京成立了边缘计算产业联盟（edge computingconsortium)，致力于推动“政产学研用”各方产业资源合作，引领边缘计算产业的健康可持续发展.2017年5月首届中国边缘计算技术研讨会在合肥开幕，2017年8月中国自动化学会边缘计算专委会成立，标志着边缘计算的发展已经得到了专业学会的认可和推动.

稳健发展期

2018 年1月全球首部边缘计算专业书籍《边缘计算》出版

2018年9月17日在上海召开的世界人工智能大会，以“边缘计算，智能未来”为主题举办了边缘智能主题论坛

2018年8月两年一度的全国计算机体系 结构学术年会以“由云到端的智能架构”为主题，由此可见，学术界的研究焦点已经由云计算开始逐渐转向边缘计算.

边缘计算也得到了技术社区的大力支持，具有代表性的是2018年10月CNCF基金会和Eclipse基金会展开合作，将把在超大规模云计算环境中已被普遍使用的Kubernetes,带人到物联网边缘计算场景中.新成立的Kubernetes物联网边缘工作组将采用运行容器的理念并扩展到边缘，促进Kubernetes在边缘环境中的适用。

参考架构

基于模型驱动的工程方法(Model-Driven Engineering MDE )，ECC提出了边缘计算参考架构 3.0

整个系统分为云、边缘和现场三层，边缘计算位于云和现场层之间，边缘层向下支持各种现场设备的接入，向上可以与云端对接；

边缘层包括边缘节点和边缘管理器两个主要部分。边缘节点是硬件实体，是承载边缘计算业务的核心。边缘计算节点 根据业务侧重点和硬件特点不同，包括以网络协议处理和转换为重点的边缘网关、以支持实时闭环控制业务为重点的 边缘控制器、以大规模数据处理为重点的边缘云、以低功耗信息采集和处理为重点的边缘传感器等。边缘管理器的核心是软件，主要功能是对边缘节点进行统一的管理。

边缘计算节点一般具有计算、网络和存储资源，边缘计算系统对资源的使用有两种方式：第一，直接将计算、网络和 存储资源进行封装，提供调用接口，边缘管理器以代码下载、网络策略配置和数据库操作等方式使用边缘节点资源；第二，进一步将边缘节点的资源按功能领域封装成功能模块，边缘管理器通过模型驱动的业务编排的方式组合和调用 功能模块，实现边缘计算业务的一体化开发和敏捷部署。

边缘计算应用

5.1 供零售/金融/远程连接领域使用的“开箱即用云”

这类边缘计算主要提供给企业使用，提供了一系列可定制边缘计算环境[5]，并服务于特定产业应用。它从根本上与分布式结构相结合来达到以下效果：降低硬件消耗，多站标准化部署，灵活更替部署在边缘侧的应用（不受硬件影响，同一应用在所有节点上一致运行），提升弱网络条件下的运行稳定性。如果联网的条件有限制，通过将联网方式设定为有限网络连接时，可以提供内容缓存或提供计算、存储服务以及网络服务，比如新零售边缘计算环境。

5.2 移动连接

许多应用或多或少都依赖于移动网络，例如应用于远程修复的增强现实、远程医疗、采集公共设施（水力，煤气，电力，设施管理）数据的物联网设备、库存、供应链以及运输解决方案、智慧城市、智慧道路和远程安全保障应用。这些应用都受益于边缘计算就近端处理的能力。

5.3 用户驻地设备（uCPE）

特点是网络连接有限，工作量较为稳定但需确保可用性高，同时，它也需要一种方法来支持跨上百至上千节点的数据应用混合安置，而拓展现有uCPE部署也将成为一项新要求。而这点非常适用于网络功能虚拟化（NFV Network Function Virtualization）应用，尤其当不同站点可能需要不同系列的服务链应用，或是区域内一系列不同的应用需要统一协作时。由于本地资源的利用以及必须满足在间断的网络连接下进行存储和进行数据处理，我们可需要支持网状或层次式的结构。自我修复以及与远程节点管理相结合的自我管理都是必须条件。

5.4 卫星通信（SATCOM）

该场景以大量可用的终端设备分布于最偏远和恶劣的环境为特征。将这些分散的平台用于提供托管服务极为合理的，尤其是当考虑到极高的延时，有限的带宽以及跨卫星通讯的费用。具体事例可能包括船舶（从渔船到油轮），飞机，石油钻井，采矿作业或军事基础设施。

5.5 梯联网

梯联网利用物联网，边缘计算技术实现分散部署的电梯远程数据采集，预测性维护。电梯中多150+传感器，几秒钟 采集一次数据，几十万台电梯数据量非常大，消耗LTE数据流量很高。需要边缘处理。在网络中断时，边缘计算可就近处 理紧急告警。边缘计算与云协同实现策略更新，使能边缘设备更智慧。客户在容器中部署安全 APP,数据采集APP，数据分析APP，设备诊断APP,设备管 理APP,边云协同APP,实现边缘计算。设备的重要数据传 送上云之后，在云端进行大数据分析，实现电梯的预测性维护分析。

通过部署基于边缘计算的梯联网解决方案，实现电梯维护状态全程可视化，维护作业移动化，专家经验远程复用，有效提升了维护效率。

5.6 工业机器人

随着制造业万物互联的大趋势，控制系统不仅承担着下层执行设备的任务，同时也被要求能够具备信息化功能，实行生产现场数据的收集反馈，助力实现人、机器、系统之间的智能化、交互式无缝衔接。工业生产现场数据具有很大的体量，并具有实时性需求。传输大量的原始数据通常会给网络带来较大的负担。因此，通常在数据源附近处理数据更为行之有效，这样就可以只向云中心发送有价值的数据。柔性化、定制化生产是未来工厂基本特点之一。这要求运营技术（OT, operational technology, PLC、SCADA等） 和信息技术（IT, MES、ERP等）进一步深度融合。边缘计算正是位于IT和OT之间的一个接口。

基于边缘计算的“端-边-网-云”[7]工业机器人智能制造 解决方案具有灵活的部署方式，可以将各个计算、存储、 网络资源分布到利用率最高的地方，既避免了资源冗余导 致的浪费，又大幅提升了机器人的网络化、数字化、智能 化能力，使工业机器人可以快速对接大数据、人工智能、 云计算等先进信息技术。

现状与未来

面临的挑战

目前边缘计算已经得到了各行各业的广泛重视，并且在很多应用场景下开花结果；但边缘计算的实际应用还存在很多问题需要研究。本文中，我们对其中的几个主要问题进行分析，包括优化边缘计算性能、安全性、互操作性以及智能边缘操作管理服务。

（1）优化边缘计算性能。在边缘计算架构中，不同层次的边缘服务器所拥有的计算能力有所不同，负载分配将成为一个重要问题。成本分析需要在运行过程中完成、分发负载之间的干扰和资源使用情况，都对边缘计算架构提出了挑战。

（2）安全性。边缘计算的分布式架构增加了攻击向量的维度，边缘计算客户端越智能，越容易受到恶意软件感染和安全漏洞攻击。在边缘计算架构中，在数据源的附近进行计算是保护隐私和数据安全的一种较合适的方法。

（3）互操作性。边缘设备之间的互操作性是边缘计算架构能够大规模落地的关键。不同设备商之间需要通过制定相关的标准规范和通用的协作协议，实现异构边缘设备和系统之间的互操作性。

（4）智能边缘操作管理服务。网络边缘设备的服务管理在物联网环境中需要满足识别服务优先级，灵活可扩展和复杂环境下的隔离线。

发展趋势

1）云-边-端协同发展

虽然云计算的相关技术已经比较成熟，但其工作原理造成的集中式数据处理、网络时延和抖动等固有问题依然存在。边缘计算的发展对云计算是一个强力的补充。在未来物联网的发展中，边缘计算、云计算和终端设备必须进行协作。云计算负责任务调度等全局性工作。边缘计算是云计算向数据产生侧的延伸，侧重于现场、实时性和安全性等，在对数据进行处理后将有价值的信息上传至云端。终端设备通过各类内嵌的传感器对原始数据进行采集。

2）边缘计算与5G网络协同发展

5G网络的商用为边缘计算提供了进一步的发展契机。虽然5G网络具有高带宽、大容量、低时延等优势，但该技术极大地增加了数据处理的规模，必须提供一种兼具高效性和可靠性的新型计算模式[21]。多接入边缘计算被视为一种向5G过渡的关键技术和架构性概念，能够充分发挥5G的各种优势，从云-边-端3个方面优化资源的配置，实现系统性能、成本、用户体验等多个方面的提升。

3）个性化发展

在实际生产环境中，边缘计算基础设施的拥有者、各节点的任务类型、计算量等都不尽相同。在部署边缘应用时，必须保证能够提供最低服务水平。在开发边缘计算设备和应用程序时应当充分考虑可能面临的个性化需求，以便更高效地利用基础设施资源。