

边缘计算发展概述

● 欧阳伟 王广益

江南计算技术研究所 无锡 214083

摘要：

本文主要介绍了边缘计算的产生背景以及定义，列举了几个应用场景，分析了几个相关研究领域，最后介绍了边缘计算面临的挑战。

关键词：边缘计算，应用场景，研究领域，挑战

1. 引言

边缘计算（Edge Computing）概念是相对云计算^[1]而提出的，云计算是将计算等资源集中到网络的几个关键节点，而边缘计算则是将计算放在网络边缘侧，靠近终端和用户。边缘计算其实并不“边缘”，而且意义重大。边缘计算和云计算都是处理大数据的计算运行方式。但不同的是，边缘计算数据不用再传到遥远的云端，在边缘侧就能解决，更适合实时的数据分析和智能化处理，更加高效而且安全。

为了促进边缘计算在各行业的数字化创新和行业应用落地，引领产业健康可持续发展，2016年12月，由华为技术有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、中国信息通信研究院、英特尔公司、ARM和软通动力信息技术（集团）有限公司联合倡议发起的边缘计算产业联盟（Edge Computing Consortium, ECC）在北京正式成立，旨在搭建边缘计算产业合作平台，推动运行技术（operation technology, OT）和信息与通信技术（ICT）产业开放协作，引领边缘计算产业发展。边缘计算领域的相关国际会议也已经开始兴起，如2016年10月在美国华盛顿特区举办了第一届 IEEE/ACM Symposium on Edge Computing（SEC），2017年5月在西班牙马德里举办第一届 IEEE International conference on fog and edge computing（ICFEC 2017）。

2. 边缘计算产生背景与定义

2.1 边缘计算产生背景

以云计算模型为核心的大数据处理阶段称为集中式大数据处理时代，该阶段特征主要表现为：大数据的计算和存储均在云计算中心（数据中心）采用集中方式执行，因为云计算中心具有较强的计算和存储能力。这种资源集中的大数据处理方式可以为用户节省大量开销，创造出有效的规模经济效益。但是，云计算中心的集中式处理模式在万物互联的时代表现出其固有的问题，如万物互联背景下，网络边缘设备所产生的数据已达到海量级别：（1）线性增长的集中式云计算能力无法匹配爆炸式增长的海量边缘数据；（2）从网络边缘设备传输到云数据中心的海量数据增加了传输带宽的负载量，造成网络延迟时间较长；（3）边缘设备数据涉及个人隐私和安全的问题变得尤为突出；（4）边缘设备具有有限电能，数据传输造成终端设备电能消耗较大等等。

针对于此，万物互联时代，如果仍采用集中式大数据处理模式下的云计算，现有的云计算相关技术并不能完全高效地处理网络边缘设备所产生的海量数据。万物互联应用需求的发展催生了边缘式大数据处理模式，即边缘计算模型，其能在网络边缘设备上增加执行任务计算和数据分析的处理能力，将原有云计算模型的部分或全部计算任务迁移到网络边缘设备上，降低云计算中心的计算负载，减缓网络带宽的压力，提高万物互联时代数据的处理效率。边缘计算与云计算关系示意如图1所示。

线性增长的集中式云计算能力已无法匹配爆炸式增长的海量边缘数据，基于云计算模型的单一计算资源已不能满足大数据处理的实时性、安全性和低能耗等需求，在现有以云计算模型为核心的集

中式大数据处理基础上，亟待需要以边缘计算模型为核心，面向海量边缘数据的边缘式大数据处理技术，二者相辅相成，应用于云中心和边缘端大数据处理，解决万物互联时代云计算服务不足的问题。

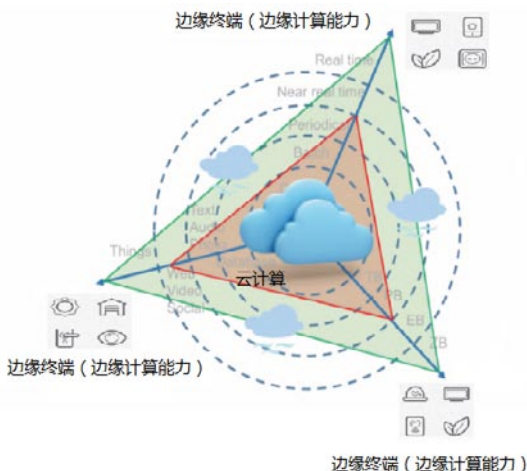


图1 边缘计算与云计算

传感器、智能手机、可穿戴设备以及智能家电等设备将成为万物互联的一部分，并产生海量数据，而现有云计算的带宽和计算资源还不能高效处理这些数据。因此，在网络边缘端处理源数据，筛选出有效的信息并发送到云端将成为一种新的计算模型，其有效降低云中心的网络带宽和计算负载，边缘计算模型受到学术界和产业界的广泛关注。利用边缘设备已具有的计算能力，将应用程序的全部或部分计算任务从云中心迁移到边缘设备端执行。

在云计算模型中，边缘终端设备通常作为数据消费者也可生产数据，从数据消费者到生产者角色的转变要求边缘设备具有更强的计算能力，如通过 Facebook、Twitter、微信等分享照片及视频，YouTube用户每分钟上传长达72小时的视频内容；Twitter用户每分钟近30万次的访问量；微信朋友圈和腾讯QQ空间每天上传的图片高达10亿张；腾讯视频每天播放量达20亿次。这些图片和视频数据量较大，上传至云计算中心过程会占用大量带宽资源。为此，在源数据上传至云中心之前，可在边缘设备执行预处理，以减少传输的数据量，降低传输带宽的负载。此外，若在边缘设备处理个人身体健康数据等隐私数据，用户隐私会得到更好地保护。

2.2 边缘计算定义

边缘计算是指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，满足数字化在敏捷联接、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。作为在网络边缘执行计算的一种新型计算模型，边缘计算中边缘的下行数据表示云服务，上行数据表示万物互联服务，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。云计算中心不仅从数据库收集数据，也从传感器和智能手机等边缘设备收集数据。这些设备兼顾数据生产者和消费者。因此，终端设备和云中心之间的请求传输是双向的。网络边缘设备不仅从云中心请求内容及服务，而且还可以执行部分计算任务，包括数据存储、处理、缓存、设备管理、隐私保护等。因此，需要更好地设计边缘设备硬件平台及其软件关键技术，以满足边缘计算模型中可靠性、数据安全性的需求。

3. 边缘计算应用场景

如果提到云计算，大家对于这个市场规模都有着一定的了解，甚至随着云计算的不断落地，随着公有云和混合云的应用普及，云计算市场的规模正在不断扩大。但是对于边缘计算这样的新市场，甚至对于这个大众还不熟悉的新名词来说，这个市场又有多大呢？按照IDC的统计数据，到2020年将有超过500亿的终端与设备联网，未来超过50%的数据需要在网络边缘侧分析、处理与储存，边缘计算所面对的市场规模非常巨大。其实看看联盟的6大创始成员就能发现，这个市场规模甚至超乎想象。在边缘计算产业联盟当中，包括了英特尔和ARM，两者都看到了这个市场会前所未有的诱惑力，以至于双方采取合作的态度，共同推进行业的标准化发展。可以说，对于包括华为、英特尔、ARM在内的联盟发起者来说，每家企业或组织机构都有着自己的定位与使命。华为将聚焦在边缘计算的智能联接，提供以SDN技术为代表的富有创新性的产品和解决方案，与合作伙伴一起在电力、交通、智慧城市等行业继续实践，取得更好的经济和社会效益。

应用是检验新技术是否有价值的最直接、最有效方式。同样，边缘计算是否有价值取决于基于边缘计算的关键应用场景，只有通过应用才能发现边缘计算在发展中所遇到的各种挑战和机遇。因此，下面给出基于边缘计算模型的三种典型应用场景。

3.1 云计算任务迁移

在云计算中，大多数计算任务在云计算中心执行，这会导致响应延时较长，损害用户体验。而在边缘计算中，边缘端设备借助其一定的计算资源实现从云中心迁移部分或全部任务到边缘端执行。例如，对于在线购物，消费者可能频繁地操作购物车，在默认条件下，购物车状态的改变先在云中心

完成，然后用户设备上购物车内产品视图再更新。该操作时间取决于网络带宽和云中心负载状况。由于移动网络的低带宽，移动端购物车的更新延时较长。如果购物车内产品视图的更新操作从云中心迁移到边缘节点，这样就会降低用户请求的响应延时。购物车数据可被缓存在边缘节点，相关的操作可在边缘节点上执行。边缘节点与云中心的数据同步可在后台进行。当用户的请求到达边缘节点时，新的购物车视图立即推送到用户设备。

3.2 边缘计算视频监控

安全视频监控系统主要应对因万物互联的广泛应用而引起的新型国家安全及社会管理等公共安全问题。传统的视频监控系统前端摄像头内置计算能力较低，而现有智能视频监控系统的智能处理能力不足。为此，以云计算和万物互联技术为基础，融合边缘计算模型和视频监控技术，构建基于边缘计算的新型视频监控应用的软硬件服务平台，以提高视频监控系统前端摄像头的智能处理能力，进而实现重大国家安全和恐怖袭击活动预警系统和处置机制，提高视频监控系统的防范刑事犯罪和恐怖袭击的能力。针对海量视频数据，云计算中心服务器计算能力有限等问题，构建一种基于边缘计算的视频图像预处理技术。通过对视频图像进行预处理，去除视频图像冗余信息，使得部分或全部视频分析迁移到边缘处，由此降低对云中心的计算、存储和网络带宽需求，提高视频分析的速度。此外，预处理使用的算法采用软件优化、硬件加速等方法，可大幅提高视频图像分析的效率。

3.3 智慧城市

边缘计算模型可以从智能家居灵活地扩展到社区甚至城市的规模。根据边缘计算模型中将计算最大程度地迁移到数据源附近的原则，用户需求在计算模型上层产生并且在边缘处理。边缘计算可作为智慧城市中一种较理想的平台。基于地理位置的应用，对于位置识别技术，边缘计算模型优于云计算模型。在边缘计算模型中，基于地理位置的数据可进行实时处理和收集，而不必传送到云计算中心。

4. 边缘计算相关研究领域

随着大数据时代的发展，为了解决云计算中心计算负载和数据传输带宽的问题，研究者已提出多种关于将计算任务从云计算中心迁移到网络边缘的技术，其中主要模型包括分布式数据库模型、P2P模型、CDN模型、移动边缘计算模型、雾计算模型、海云计算模型等。

4.1 分布式数据库模型

分布式数据库系统是数据库技术和网络技术两者结合的成果。大数据时代，数据种类和数量的增长使分布式数据库成为数据存储和处理的核心技术。分布式数据库部署在自组织网络服务器或分散在互联网、企业网或外部网、以及其他自组织网络的独立计算机上。数据存储在多台计算机上，分布式数据库操作不局限于单台机器，而允许在多台机器上执行事务交易，以此来提高数据库访问的性能。

分布式数据库已成大数据处理的核心技术。按照数据库的结构，分布式数据库包括同构和异构系统，前者的运行环境具有相同的软件和硬件，具有单一的访问接口；后者的运行环境中硬件、操作系统和数据库管理系统以及数据模型等均有所不同。按照处理数据类型，分布式数据库主要包括SQL、NoSQL、基于可扩展标记语言（XML）以及NewSQL分布式数据库^[2]。

相比于边缘计算模型，分布式数据库提供了大数据环境下的数据存储，较少关注其所在设备端的异构计算和存储能力，主要用以实现数据的分布式存储和共享。分布式数据库技术所需的空间较大且数据的隐私性较低，对基于多数据库的分布式事务处理而言，数据的一致性技术是分布式数据库均要面临的重要挑战。边缘计算模型中数据位于边缘设备，具有较高的隐私性、可靠性和可用性。万物互联时代，终端架构具有异构性并需支持多种应用服务将成为边缘计算模型应对大数据处理的基本思路。

4.2 P2P计算

P2P^[3]计算（Peer-to-Peer computing）不仅与边缘计算紧密相关，而且还是较早将计算迁移到网络边缘的一种文件传输技术。P2P的术语于2000年首次被提出并用于实现文件共享系统，此后其逐渐发展成为分布式系统的重要子领域，其中分散化、最大化可扩展性、容忍较高层节点流失以及恶意行为防止已经成为P2P主要的研究主题。该领域的主要成就包括：（1）分布式哈希表，其后来演变为云计算模型中key-value分布式存储一般范式；（2）广义Gossip协议，其已被广泛地用于非简单信息扩散的复杂任务处理类应用中，如数据融合和拓扑管理；（3）多媒体流技术，其表现形式有视频点播、实时视频、个人通信等。边缘计算模式源于P2P，但拓展了一些P2P中原来没有的新技术和新手段，将P2P的概念扩展到网络边缘设备，实现P2P计算和云计算的融合。

4.3 内容分发网络

内容分发网络 (content distribution networks, CDN) 是基于互联网的缓存网络, 通过在网络边缘部署缓存服务器来降低远程站点的数据下载延时, 加速内容交付。CDN自1998年Akamai公司提出至今, 得到了学术界和工业界的高度关注而快速发展。如亚马逊、Akamai等公司拥有了比较成熟的CDN技术。近年来, 我国学术界也大力开展CDN优化技术研究, 如清华大学团队设计和实现的边缘视频CDN, 其提出利用数据驱动的方法来组织边缘内容热点; 基于请求预测的服务器峰值转移的复制策略, 实现把内容从服务器复制到边缘热点上为用户提供服务。

内容分发的服务与边缘计算中边缘服务类似, 均位于网络的边缘, 但是不限制在边缘节点, 还包括网络边缘的摄像头、智能手机、网关、可穿戴的计算设备和传感器等设备。

4.4 移动边缘计算

万物互联的发展实现了网络中多类型设备的互联, 而大多数网络边缘设备的能量和计算资源有限, 这使万物互联的设计变得尤为困难。移动边缘计算是在接近移动用户的无线接入网范围内, 提供信息技术服务和云计算能力的一种新的网络结构, 并已成为一种标准化、规范化的技术。2014年ETSI提出对移动边缘计算 (mobile edge computing, MEC) 术语的标准化, 并指出移动边缘计算提供了一种新的生态系统和价值链。利用移动边缘计算, 可将密集型移动计算任务迁移到附近的网络边缘服务器。由于移动边缘计算位于无线接入网内并接近移动用户, 因此可以实现较低延时、较高带宽来提高服务质量和用户体验。移动边缘计算同时也是发展5G的一项关键技术, 有助于从延时、可编程性、扩展性等方面满足5G的高标准要求。移动边缘计算通过在网络边缘部署服务和缓存, 中心网络不仅可以减少拥塞, 还能高效地响应用户请求。

4.5 雾计算

思科公司于2012年提出雾计算 (fog computing), 并将雾计算定义为迁移云计算中心任务到网络边缘设备执行的一种高度虚拟化的计算平台。雾计算在终端设备和传统云计算中心之间提供计算、存储和网络服务, 是对云计算的补充。雾计算通过在云与移动设备之间引入中间层, 扩展了基于云的网络结构, 而中间层实质是由部署在网络边缘的雾服务器组成的雾层。雾计算避免云计算中心和移动用户之间多次通信。通过雾服务器, 可以显著减少主干链路的带宽负载和能耗, 在移动用户量巨大时, 可以访问雾服务器中缓存的内容、请求

一些特定的服务。此外, 雾服务器可以与云计算中心互连, 并使用云计算中心强大的计算能力和丰富的应用和服务。边缘计算和雾计算概念具有很大的相似性, 在很多场合表示同一个意思。如果要细分二者, 边缘计算除了关心基础设施, 也关注边缘设备, 包括Things的管理等, 而雾计算则更多是指基础设施。

4.6 海云计算

中国科学院于2012年启动了一项10年战略优先研究倡议, 称之为下一代信息与通信技术倡议 (NICT)。NICT主旨是要开展“海云计算系统项目”的研究, 其核心是通过“云计算”系统与“海计算”系统的协同和集成, 增强传统云计算能力, 其中“海”端指由人类本身、物理世界的设备和子系统组成的终端 (客户端)。“海云计算系统项目”目标是实现面向ZB级数据处理的能效要比现有技术提高1000倍, 研究内容主要包括从整体系统结构层、数据中心级服务器及存储系统层、处理器芯片级等角度提出系统级解决方案。与边缘计算相比而言, 海云计算关注“海”的终端设备, 而边缘计算是从“海”到“云”之间的任意中间计算资源和网络资源, 海云计算是边缘计算的一个非常好的子集实例。

5. 边缘计算挑战

边缘计算迫切需要解决可编程性、命名规则、数据抽象、服务管理、数据隐私保护与安全以及理论基础等关键问题。这里仅讨论可编程性、命名规则和隐私保护与安全三个方面问题。

5.1 可编程性

在云计算模型中, 用户编写应用程序并将其部署到云端。云服务提供商维护云计算服务器, 用户对程序的运行完全不知或知之较少, 这是云计算模型下应用程序开发的一个优点, 即基础设施对用户透明。用户程序通常在目标平台上编写和编译, 在云服务器上运行。在边缘计算模型中, 部分或全部计算任务从云端迁移到边缘节点, 而边缘节点大多是异构平台, 每个节点上的运行时环境可能有所差异, 因此在边缘计算模型下部署用户应用程序时, 程序员将遇到较大的困难。现有传统编程方式MapReduce, Spark等均不适合, 需研究基于边缘计算的新型编程方式。

5.2 命名规则

边缘计算模型中一个重要假设是边缘设备的数

目巨大。边缘节点平台上运行多种应用程序，每个应用程序提供特定功能的服务。与计算机系统的命名规则类似，边缘计算的命名规则对编程、寻址、识别和数据通信具有非常重要的作用，而当前暂无较为高效的命名规则^{[4][5][6]}。为了实现系统中异构设备间的通信，边缘计算研究者需要学习多种网络和通信协议。此外，边缘计算的命名规则需要满足移动设备、高度动态的网络拓扑结构、隐私安全等需求。传统的命名机制（如DNS和URI）满足大多数的网络结构，但不能灵活地为动态边缘网络提供服务，原因在于大多数的边缘设备具有高度移动性和有限资源，对于该类边缘设备而言，基于IP的命名规则因复杂性和开销太大而难以应用到边缘计算中。

5.3 数据隐私保护与安全

数据隐私保护与安全是边缘计算提供的一种重要服务。边缘设备数据隐私和安全缺乏有效工具，网络边缘设备资源有限，现有数据安全的方法并不能完全适用于边缘计算。而且，网络边缘高度动态的环境也会使网络更易受到攻击。为保护用户隐

私，应在边缘设备中删除高度隐私的数据。目前，研究人员正加强对隐私保护平台的研究^{[7][8][9]}，如Deborah团队开发的Open mHealth平台，可实现对健康数据的标准化处理和存储。但是，未来仍需要开发更多的工具来处理和保护边缘计算的数据。

6. 结束语

边缘式大数据处理时代下，云计算模型已无法有效解决云中心负载、传输带宽、数据隐私保护等问题。万物互联应用服务快速发展催生了边缘计算，边缘计算模型中数据处理模式可以保证较短的响应时间和较高的可靠性，同时越来越多的应用服务将从云计算中心迁移到网络边缘设备端。此外，如果大部分数据能在边缘设备上被处理而不用上传到云计算中心，这样就大大节省传输带宽和设备端能耗。边缘计算具有极其广泛的应用前景，据IDC预测，到2020年将有超过500亿的终端与设备联网，未来超过50%的数据需要在网络边缘侧分析、处理与储存，边缘计算所面对的市场规模非常巨大。

参考文献：

- [1] Armbrust M, Fox A, Griffith R, et al A view of cloud computing [c]. Communications of the ACM, 2010, 53(4): 50-58
- [2] Fernandez I. No! to SQL and No! toNoSQL [c]. [201612-07]. <https://iggyfernandez.wordpress.com/2013/07/28/no-to-sql-and-no-to-nosql/>
- [3] Milojicic D S, Kalogeraki V, Lukose R, et al. Peer-to-peer computing [c]. Language, 2003, 46(2)
- [4] Zhang Quan, Zhang Xiaohong, Zhang Qingyang, et al Firework: Big data sharing and processing in collaborative edge environment [C] //Proc of IEEE/ACM Symp on Edge Computing (SEC2016). Piscataway, NJ: IEEE, 2016: 8182
- [5] Zhang Lixia, Estrin D, Burke J, et al. Named data networking (NDN) project [J]. RelatorioTecnico NDN-0001, Xerox Palo Alto Research Center-PARC, 2010
- [6] Raychaudhuri D, Nagaraja K, Venkataramani A & MobilityFirst! A robust and trustworthy mobility-centric architecture for the future Internet [J]. ACM Sigmobile Mobile Computing C Communications Review, 2012, 16 ():2-13
- [7] DaCosta F. Rethinking the Internet of Things: A Scalable Approach to Connecting Everything [M]. Berkeley: Apress, 2013
- [8] WiFi Network Security Statistics/Graph [OL]. [2016-1203]. <http://graphs.net/wifi-stats.html/>
- [9] Open mHealth. Open Mhealth Platform [OL]. [2016-1207]. [http://www.openmhealth.org!](http://www.openmhealth.org/)
- [10] O'Brien J A, Marakas G M. Management Information Systems [M]. New York: McGraw-Hill Irwin, 2008: 185189