# 边缘计算应用综述

叶柏榆

（浙江师范大学数学与计算机科学学院）

**摘 要**：随着 5G、人工智能、大数据、物联网等新一代信息技术的飞速发展，万物互联的时代浪潮正孕育兴起。据思科《全球年度云指数报告（2015—2020）》预测，到 2020年底，全球数据中心总数据流量将预计达到14.1ZB，据2018年IDC发布最新版的白皮书《Data Age 2025》 预测，到 2025 年，全球数据总量将达到 175ZB。另据思科互联网业务解决方案集团（IBSG）预测，到 2020 年，物联网连接设备数量将达到 500 亿台。物联网连接规模的快速扩大以及 5G 时代将至所带来的海量数据处理需求的瓶颈和压力，致使集中式的云计算模型将难以 满足万物互联时代下大数据处理的低延迟、低能耗以及安全性等方面的关键需求。为缓解其数据存储、计算及传输的负载压力，新型计算模型——边缘计算应运而生，与云计算模型协同使能行业数字化转型。本文主要介绍边缘计算概要以及在不同行业的应用，最后总结边缘应用所遇到的机遇与挑战。

**关键词：**边缘计算；云计算；实际应用

**A Survey of Edge computing applications**

YE Bo-Yu

(College of mathematics and computer science, Zhejiang Normal University)

**Abstract :** With the rapid development of 5g, artificial intelligence, big data, Internet of things and other new generation of information technology, the tide of the era of Internet of things is growing. According to Cisco's global annual cloud index report (2015-2020), by the end of 2020, the total data flow of global data center is expected to reach 14.1zb. According to the latest white paper data age 2025 released by IDC in 2018, the total global data will reach 175zb by 2025. According to ibsg, the number of Internet of things connected devices will reach 50 billion by 2020. The rapid expansion of Internet of things connection scale and the bottleneck and pressure of massive data processing demand brought by the 5g era make the centralized cloud computing model difficult to meet the key requirements of big data processing in the era of Internet of things, such as low latency, low energy consumption and security. In order to alleviate the load pressure of data storage, calculation and transmission, a new computing model, edge computing, came into being, which, together with cloud computing model, enabled the digital transformation of the industry. This paper mainly introduces the outline of edge computing and its application in different industries, and finally summarizes the opportunities and challenges encountered by edge computing.

**Key words:** Edge computing; cloud computing; practical application

#### 一、引言

近年来，随着移动通信和人工智能技术的迅猛发展，大量智能终端已经联网并催生出海量数据。为了高效利用网 络中的通信和计算资源并进一步释放人工智能的潜力，将传统基于专用数据中心的人工智能下沉到靠近用户终端的网络边缘已 成为一种技术趋势。面向这种技术发展趋势，边缘学习被认为是一种具有广泛应用前景的人工智能实施方案。但是，目前对边缘 学习的研究和应用仍处于起步阶段。边缘计算可以看作是云计算的补充， 在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合云计算中 的计算、存储、网络和应用资源，利用边缘计算提 供计算和存储能力，使应用、服务和内容实现本地 化部署，满足业务低时延、海量连接业务需求，缓解网络负载压力。

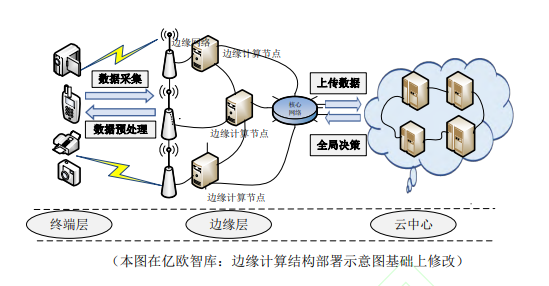
#### 二、边缘计算概述

**（一）边缘计算与云计算**

边缘计算是指在网络边缘执行计算的一种新型计算模型，是将云计算中心的部分计算能 力下放至靠近用户或终端的网络边缘侧，以实现云中心计算压力的卸载与核心网络数据传输 负担的减轻，其中的边缘是指从数据源到云计算中心路径之间的任意具备存储、计算和网络 等资源的设备。可见，边缘计算的出现并非会造成云计算的淘汰，而是对云算力的延伸和 拓展。从本质上讲，两者都是为解决大数据计算问题而诞生的一种计算方式。但不同的是， 云计算是把数据聚集起来进行集中化处理，着眼于非实时、长周性的数据处理，而边缘计算 是将其部分计算任务下沉到部署在终端设备与云层之间的边缘层中实现，着眼于实时性、短 周性的数据处理。由于数据不必再上传至遥远的云端，在网络边缘侧就能进行实时分析和智 能化处理，并仅将有价值的计算结果上传至云计算中心，为云计算的全局决策分析提供数据 支撑，所以相较于单纯的云计算而言，边缘计算更具高效性与安全性。简单来说，云计算统 筹全局，边缘计算专注局部，两者协同促进大数据处理能力的优化，从而更好地满足万物互 联时代的应用需求。

**（二）边缘计算的基本架构**

边缘计算被确立为 5G 时代的关键技术，在行业数字化、网络化、智能化转型过程中， 边缘计算协同 5G 无线通信技术可满足用户在敏捷连接、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。其中，智慧城市建设是其典型应用场景之一。 边缘计算的基本架构是“端设备—边缘—云”三层模型（如下图所示）。此 3 层计算 架构的运用既满足了终端设备计算能力扩展的需求，同时也有效地节约了计算任务在云服务 器和终端设备之间传输的网络通信链路资源。



**终端层**：终端层靠近终端用户和物理环境，它由众多物联网设备与传感器（如智能手 机、智能手表、传感器、RFID 标签等）构成。终端层作为上层数据的输送端必须对复杂的 多类型数据具备敏捷的感知能力，主要负责原始数据的采集与上传。

**边缘层**： 边缘层由部署在终端设备和云中心之间的边缘节点构成，这些边缘节点主要 包括手机、PC 等移动设备，路由器、蜂窝网络基站、网关等基础设施，机顶盒、导航等嵌 入式终端设备，Cloudlet, Micro Data Center 等小型计算中心等。该层具备一定的计算和 存储能力，主要负责对采集的数据进行本地化分析、处理并将结果进行临时缓存，同时，通 过边缘管理器与云层建立联系，将处理后的相关数据上传至云端进行更加全面深入的分析， 以满足移动设备低时延和高流量的需求。

**云中心：**云中心层位于云边协同联合式网络结构中的核心位置，是一个集中式的大型 数据计算、存储中心。该层由多个高性能的服务器和存储设备组成[9]，拥有海量的存储空间 和强大的计算能力，负责对各个边缘节点上报的大规模数据集进行永久性存储和对边缘节点 提供的数据集进行更全面深入的分析，并向边缘层反馈策略来优化边缘侧算法，进而完善边 缘智能服务以满足灵活高效指导生产实践的需要，如智能家居、智能交通、智能社区等。

**(三)边缘计算的基本特点**

边缘计算具备以下几点特质，即：低时延、低能耗、高可靠、智能化。

**低时延**：边缘计算在靠近终端设备或数据源的网络边缘侧执行本地化计算任务，由于 数据不必经过核心网上传至云端进行集中处理，而在网络边缘侧就能实现对数据的过滤和分 析。因此，终端设备可以就近接收到实时反馈，具有近端的决策控制力，有效避免了设备响 应的高时延，可满足终端用户对服务敏捷性的需求。

**低能耗**：边缘计算充分利用本地现有的网络资源（如 WiFi、移动网络基站、网关等） 和边缘设备闲置的存储、计算资源，在边缘节点处对部分数据进行过滤、计算和分析，依据 安全策略动态调整设备到云端的数据流量，减少数据传输量和网络带宽占用，能够有效降低 数据处理成本和设备能耗。其基本理念就是利用边缘设备已有的计算能力，将智能终端中 应用程序的部分或全部计算任务由云中心下放到边缘节点设备中完成，实现网络带宽和数据 中心计算压力的缓解，从而带来能源消耗的降低。

**高可靠**：边缘计算将计算和存储节点置于互联网边缘，靠近移动设备或传感器，即使 在广域网发生故障的情况下，也能够实现局域范围内的数据处理，掩盖暂时的云服务器计算 故障，保证本地业务的可靠运行。此外，边缘计算分布式的架构可以使终端计算任务受单 点网络故障影响较小，同时能有效均衡计算负载、合理调度计算资源来保障用户服务的全天候性。

**智能化：**人工智能芯片与边缘计算组合赋能边缘计算朝着智能化方向发展。由于云边 融合计算的基本原理是将智能算法前置，通过前端边缘设备的计算能力对数据进行预处理， 降低信息传输系统和后端设备的计算负载，使计算中心做出更高效的分析。而高性能人工智 能芯片的嵌入对边缘设备的计算能力有了极大的提高（如 NVIDIA 的 JETSONTX 系列嵌入式芯 片），使边缘传感器和设备具备按需智能感知周围环境的能力，同时能基于智能感知的数据 做出智能化决策，为用户提供更加便捷的智能化服务。

#### 三、边缘计算在实际应用中的可行性

有关边缘计算的研究、标准化工作以及产业化活动已受到各界的广泛关注，边缘计算发展前景广阔。在学术研究方面，2016 年 10 月 ACM 与 IEEE 以边缘计算为主题首次正式举办 学术论坛——IEEE/ACM Symposium on Edge Computing（SEC），学术界、产业界、政界共同 携手探讨边缘计算的应用价值与研究方向。在标准化方面，欧洲电信标准协会 (European Telecommunications Standards Institute, ETSI)、第三代合作伙伴计划 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP)、中国通信标准化协会（China Communications Standards Association, CCSA）这三大标准化组织纷纷将有关边缘计算的标准化工作摆在组织关注的 重要位置。在产业化方面，华为、中国科学院沈阳自动化研究所、CAICT、Intel、ARM 等公 司为推动“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于 2016 年 11 月联合倡议发起成立了边缘计算产业联盟（Edge Computing Consortium，ECC）。在国际上，全球性产业组织工业互联网联盟 IIC 意定义边缘计算参考架构于 2017年成立 Edge Computing TG。 各企业纷纷致力于加速边缘计算落地，其应用实践发展迅速。2017 年中国联通携手英 特尔、诺基亚、腾讯云在上海“梅赛德斯—奔驰文化中心”成功搭建网络边缘云系统，实现 TBytes 吞吐量、毫秒级业务响应时延，极大提升了用户体验。2019年中兴通讯携手中国 移动咪咕、高通，基于MEC 部署的 AI和 vCDN 实现体育赛事转播、多视角直播等功能，如在 两会期间中兴 5G 手机助力央视首度完成 5G+4K 网络直播，以及新华社在全国政协记者会上 的全链条直播，同时，中兴通讯也在智能制造、智能电网、车联网、港口、园区等重点行业 中进行了边缘计算技术的成功实践。边缘计算技术的不断成熟，增大了其在实际应用中的可行性。

#### 四、边缘计算在智慧图书馆中的应用

边缘计算主要应用在实时性要求高、数据量大、处理能力要求高、本地化需求强的场景，在图书馆智慧服务中具有很强的应用前景。

1. **用户请求响应速度更快**

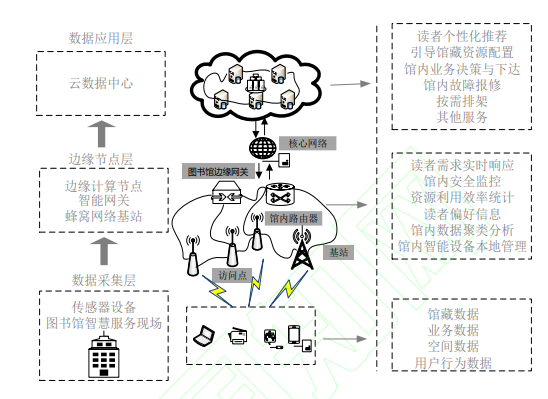
边缘计算所具备的靠近数据源、实时性好；低时延、响应速度快以及位置感知等技术特征近乎是为图书馆的智慧服务需求量身打造。由于 RFID、红外感应器、GPS、人脸识别等各种智能感知设备在图书馆中的广泛应用致使馆内数据的海量增长，如何对这些设备所生的海 量数据进行实时处理和高效分析成为图书馆智慧服务的前提和基础。如果边缘计算融合进图书馆智慧服务中，那么贴近用户的边缘设备就能够快速响应用户请求并做出实时判断，不必再像集中式的云架构模型那样将用户请求数据上传至遥远的云中心进行集中处理，极大缩短了设备的响应时延，可满足用户及时、高效获取资源的需求，服务体验满意度更高。

1. **用户访问更加安全可靠**

集中式的云架构模型中，用户的所有行为数据都要上传至云中心进行存储和计算，一旦 遭到恶意软件或其他入侵容易面临数据泄露的风险。而边缘计算能够实现数据的本地端处理， 可以对敏感信息进行过滤，无需再将智能终端采集到的全部数据上传至云端，降低了终端设 备与云中心之间的数据传输量，因此，当设备遭受恶意攻击时，也只会包含本地收集的数据， 而不是整个云服务器受损带来大量数据泄露。且由于边缘计算具备不过分依赖网络环境和云中心的自主决策能力，因此，它能 够在网络连接中断的情况下仍能保证物联设备有效运行的绝对优势。将边缘计算融合进图书 馆智慧服务中，那么读者服务请求即使在网络连接受限的情况下仍能对所需的知识产品和信 息进行访问，可以充分保证用户服务的可靠性。

1. **资源利用更具高效性与智能化**

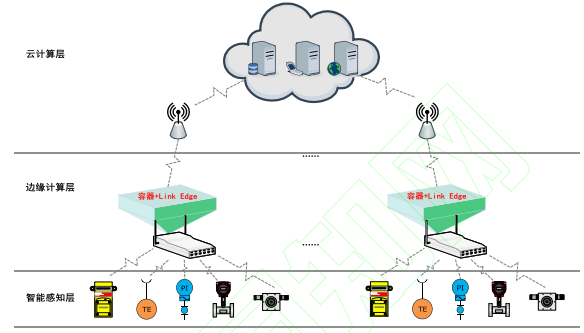
馆内资源利用的高效性与智能化是智慧图书馆的典型特征之一，而边缘计算的引入，将为智慧图书馆推进馆内多元异构资源的高效、智能利用提供新的技术支撑，可以大大提高用户体验的满意度。例如，在馆藏资源利用方面，由于用户发出的馆藏资源检索请求可以在靠近用户的边缘计算节上以豪秒级的响应速度快速处理，而不必上传至云端进行集中化计算，所以能够极大缩短用户等待时间，实现用户以近乎零察觉的速度获取所需要的文献资源，满足用户对馆内资源高效利用的需求；在馆舍资源利用方面，边缘计算节点可以对馆内温湿度、 照明系统进行实时智能监控，能够根据馆内温湿度及光线强弱自动调节馆内温湿度与照明强 度，为用户提供舒适的阅读环境，从而能有效满足用户对馆内空间资源服务智能化的需求。



基于边缘计算的图书馆智慧服务体系框架

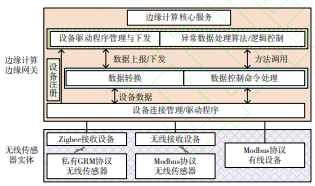
#### 五、边缘计算在石油物联网系统中的应用

边缘计算通过把小型带有计算、存储和网络接入能力的设备部署在网络边缘，与智能传感器、有线仪表和用户紧密相连，既可以满足边缘设备计算 能力扩展需求，又可以有效减少网络负载，降低数 据时延。边缘计算面向的对象包括来自边缘端物联 网的上行数据和来自云计算中心的下行数据[16,17]。油田现场生产活动分散地处于偏远难以到达的恶劣自然环境地区，网络链接时常发生中断情况， 现场生产数据无法回传和实时控制，现场数据采集、 传输和业务逻辑的实时性要求较高，如果数据分析 和控制逻辑全部集中在云端完成，难以满足实时性需求。另一方面，边缘计算可以提供计算卸载，在边缘端进行通信协议解析、数据格式转换后可以实 时响应感知层设备，将异常数据过滤后进行规则学 习，计算报警阈值，数据异常时触发报警，减少传统云端计算模式下报警信息大量冗余和淹没有效 报警信息的弊端，提高响应、降低时延，实现安全 生产的目标。油田物联网边缘计算整体架构自下而上分为智能感知层、边缘计算层、云计算层，如图所示。



**智能感知层**：通常包括无线智能压力、温度、 抽油泵示功图传感器，电量监测设备、流量计、调 节阀以及电动机变频器等。感知层设备与上层设备 通信方式有无线和有线两种方式，通信协议分别为 基于 IEEE 802.15.4 标准和 ZigBee 通信协议标准的油 田 SZ9-GRM（G 代表网关 Gateway，R 代表路由 Router， M 代表无线仪表等测量设备 Measurement）私有通信 协议和工业标准 Modbus 通信协议，感知层设备的安 全主要考虑设备的物理安全和内容安全。

**边缘计算层**：在油田物联网边缘计算系统中为 边缘网关设备具有丰富的下联设备接口，包含以太 网口、RS-232/485 串口、数字量输入/输出接口以 及 3G/4G 模块。边缘网关具有访问互联网的功能， 充当边缘网关的角色，既可以实现设备数据的采集、过滤、流转、存储、分析和处理，又可以将设备数 据上报至云端，同时提供规则引擎和函数计算功能，方便应用场景编排和业务扩展，边缘计算层的核心 功能接口如下图所示。



**云计算层**：通常包括服务器计算资源、存储资源、云端网络和用户应用程序部分，除了提供复杂 的数据处理、分析和展示外，还提供异常数据报警 管理、设备管理和控制功能，与边缘端处理协同， 满足不同的业务应用需求。 从图可知在边缘计算层需要实现底层设备接 入驱动的开发和管理，支持设备驱动程序云端下发、 子设备通道设定管理和子设备添加、删除管理与维 护等功能；协议数据解析与转换，经过数据过滤后，利用异常数据处理算法进行数据实时检测和异常 值判断和报警提醒；基于规则引擎进行多个数据逻 辑控制，进而实现设备连锁控制功能。通过在边缘 端部署边缘网关，将原来云端计算和存储资源下放 至边缘端，在边缘端实现设备协议数据包解析、数据格式转换、数据过滤和报警提醒以及设备连锁逻 辑控制，降低网络时延和由于网络中断造成数据丢失和控制功能失效，提高业务实时连续性，保障生产平稳运行。

#### 六、未来的机遇与挑战

尽管已经引起学术界和产业界的广泛重视，边缘学习还处在蹒跚踯躅的初级阶段，尚有大量问题值得深 入研究。首先，将通信和计算两大功能进行有机结合将是探索边缘学习技术进步和创新的重要途径。其次，从云学习到边缘学习，保护个人隐私与数据安全也面临新的挑战。最后，边缘学习从理论研究到系统实现的转化将依赖于系统架构设计、软件开发和硬件加速等研究的不断推进。

1. **通信与计算的联合优化**

为实现通信与计算两大功能的有机结合，单纯地将边缘学习系统中的通信网络看成一条 “数据管道”往往不是一个明智的选择。相反，通过对通信与计算过程的联合优化能够显著提高系统整体性能。 在此，联合优化一方面是指将通信技术用于优化机器学习的过程；另一方面，机器学习的方法也能够应用于系 统中的通信设计。

1. **数据安全与隐私保护**

虽然对隐私数据的保护是边缘计算的天然优势，但在边缘学习中同样存在新的数据安全与隐私泄漏问题。 首先，边缘学习系统通常由异构的网络和设备组成，不同网络或设备间的加密和保护机制难以兼容时，会导 致用户的数据失去保护。因此，需要设计新的安全协议或机制来保障边缘学习中的数据安全。其次，边缘学 习系统中设备资源的开放性和数据共享，都增加了边缘服务器和终端设备受到攻击的风险，如拒绝访问攻击 (Denial of Services, DoS)、欺骗攻击 (spoofing attacks) 和中间人攻击 (man-in-the-middle attacks) 等。

#### 参考文献:

[1]Cisco.CiscoGlobalCloudIndex2015-2020[EB/OL].[2019-04-15].https://www.useit.com.cn/thread-13856-1-1.html.

[2]IDC.DataAge2025[EB/OL].[2019-04-15]. http://www.chinastor.com/market/12214001R018.html.

[3]EVANS D. The Internet of everything: how more relevant and valuable connections will change the world[J]. Cisco IBSG, 2012:1-9.

[4] 储节旺,陈芬,郭春侠.边缘计算在图书馆智慧服务中的应用探索[J/OL].情报理论与实践:1-11[2019-12-31].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1762.G3.20191009.1607.002.html.

[5] 施巍松,孙辉,曹杰,张权,刘伟.边缘计算:万物互联时代新型计算模型[J].计算机研究与发 展,2017,54(5):907-924.

[6] 边缘计算5G时代关键技术[EB/OL].[2019-07-24]. https://www.sohu.com/a/305514277\_115978.

[7] 边缘计算产业联盟. 边缘计算产业联盟白皮书[EB/OL].[2019-04-15]. http://www.ecconsortium.net/Uploads/file/20190221/1550718911180625.pdf.

[8] 赵梓铭,刘芳,蔡志平,肖侬.边缘计算：平台、应用与挑战 [J].计算机研究与发 展,2018,55(2):327-337.

[9] 张佳乐,赵彦超,陈兵,胡峰,朱琨.边缘计算数据安全与隐私保护研究综述[J].通信学报, 2018, 39(3):1-21.

[10] 安星硕,曹桂兴,苗莉,任术波,林福宏. 智慧边缘计算安全综述[J].电信科 学,2018,34(7):135-147.

[11] 张聪,樊小毅,刘晓腾,庞海天,孙立峰,刘江川.边缘计算使能智慧电网 [J].大数 据,2019,5(2):64-78.

[12] SHI W, DUSTDAR S. The promise of edge computing[J]. Computer, 2016, 49(5): 78-81.[13] SATYANARAYANAN M. The emergence of edge computing[J]. Computer, 2017,50(1): 30-39.

[14] 英特尔提供端到端平台加速边缘计算落地[EB/OL].[2019-07-16]. http://www.xinhuanet.com//info/2017-12/19/c\_136836639.htm.

[15] 孙秀杰.智创“边缘”共赢未来中兴通讯边缘计算垂直应用发展的实践探索

[16] 姚美菱,张星,靳利斌,李莉,曲文敬.移动边缘计算的需求与部署分析[J].电信快报,2019(4):10-11, 25.

[17] Pawani P, Jude O, Madhusanka L, et al. Survey on Multi-Access Edge Computing for Internet of Things Realization[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018:1-1.

[18] Sun X, Ansari N. EdgeIoT: Mobile Edge Computing for the Internet of Things[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(12):22-29.

[19] Amir M. Rahmani, Tuan Nguyen Gia, Behailu Negash, et al. Exploiting smart e-Health gateways at the edge of healthcare Internet-of-Things: A fog computing approach[J]. Future Generation Computer Systems, 2018, 78(2): 641-658.

[20] Pasquale P, Gianluca A, Raffaele G, et al. An Edge-based Architecture to Support Efficient Applications for Healthcare Industry 4.0[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2018:1-1.

[21] Li H, Ota K, Dong M. Learning IoT in Edge: Deep Learning for the Internet of Things with Edge Computing[J]. IEEE Network, 2018, 32(1):96-101.

[22] 吴琪,卢健圳,伍沛然,王帅,陈立,夏明华.边缘学习:关键技术、应用与挑战[J/OL].无线电通信技术:1-26[2019-12-31].http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1099.TN.20191217.1634.002.html.