

边缘计算中数据驱动的智能应用:前景与挑战

Data-Driven Intelligent Application in Edge Computing: Prospects and Challenges



秦永彬/QIN Yongbin¹, 韩蒙/HAN Meng², 杨清亮/YANG Qingliang²

(1. 贵州大学贵州省公共大数据重点实验室, 贵州 贵阳 550025;
2. 肯尼索州立大学数据驱动智能研究实验室, 美国 乔治亚州 30066)
(1. Guizhou Provincial Key Laboratory of Public Big Data, GuiZhou University, Guiyang 550025, China;
2. Data-driven Intelligence Research (DIR) Laboratory, Kennesaw State University, GA 30066, USA)

摘要: 针对边缘计算中数据驱动的智能应用这一子领域进行了全面的综述和比较。创新性地提出面向智能应用的边缘体系架构, 并对目前已经存在的智能应用的最新成果进行总结。通过对相关研究工作的总结和分析, 提出将人工智能与边缘计算相结合的方法来面对全新的机会和挑战, 并对如何衡量、面对并有效利用这些机会与挑战提出了进一步的思考和展望。

关键词: 边缘计算; 数据驱动; 智能应用; 人工智能

Abstract: In this paper, a comprehensive overview and comparison of the sub-areas of data-driven intelligent applications in edge computing is given. An edge architecture for intelligent applications is proposed and the latest achievements of existing intelligent applications are summarized. It points out that integrating artificial intelligence and edge computing will bring new opportunities and challenges. Further thoughts and prospects are then proposed on how to measure, face and effectively use these challenges and opportunities.

Key words: edge computing; data driven; intelligent applications; artificial intelligence

DOI: 10.12142/ZTETJ.201903010
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190611.1437.002.html>

网络出版日期: 2019-06-11
收稿日期: 2018-12-23

随着物联网、5G网络的全方位覆盖, 大数据、人工智能等技术也逐渐渗透到了各行各业以及人们的日常生活中, 智慧城市、移动支付等诸多新型服务模式和业务不断出现, 帮助着经济社会转型升级的同时, 也推动了人类生活的发展。近几年的物联网设备连接数也呈现出线性增长趋势, 据互联网业务解决方案集团预测: 2020年的物联网设备数量将达到500亿, 具体如图1

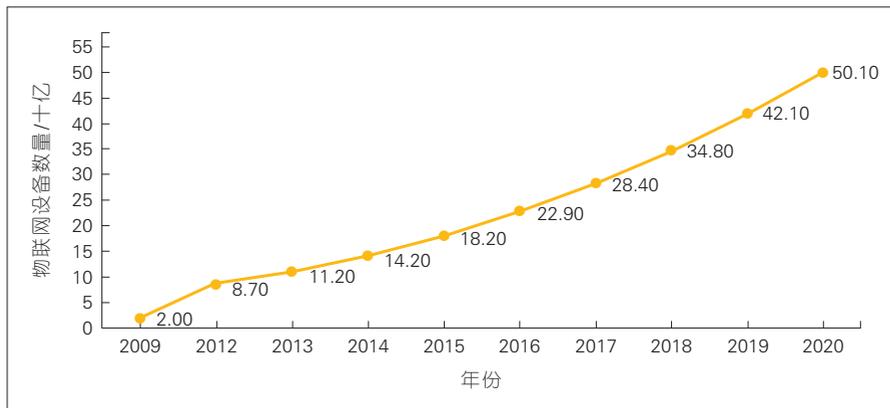
所示。

在此万物互联的大数据时代背景下, 一方面, 每天产生的数据量剧增; 另一方面, 物联网等应用背景下的数据在地理上分散, 对响应时间和安全性提出了更高的要求。云计算, 作为当今主要的计算技术之一, 凭借其便捷的、按时按需的计算模式, 在过去的10年里, 成功地缓解了日益增长的数据所带来的存储、管理等问题。传统的云计算虽然为大数据处理提供了高效的计算平台, 但是目前网络带宽的增长速度

远远赶不上数据的增长速度, 网络带宽成本的下降速度要比中央处理器(CPU)、内存这些硬件资源成本的下降速度慢很多, 同时复杂的网络环境让网络延迟很难有突破性提升。所以, 传统的云计算不能满足对响应时间和安全性的高要求。单纯依靠云计算这种集中式的计算处理方式, 不足以支持以物联网感知为背景的应用程序运行和海量数据处理。

在这种应用背景下, 边缘计算应运而生, 它与现有的云计算集中

基金项目: 贵州省公共大数据重点实验室开放课题基金(No.2018BDKFJJ002)



▲图1 物联网设备增长趋势

式处理模型相结合,能有效解决云中心和网络边缘的大数据处理问题。边缘计算是指数据或任务能够在靠近数据源头的网络边缘侧进行计算和执行计算的一种新型服务模型。这里所提的网络边缘侧是从数据源到云计算中心之间的任意功能实体。

相比于云计算,边缘计算具有以下明显的优点:

- 边缘计算可以在网络边缘处理大量临时数据从而减轻网络带宽与数据中心的压力。
- 边缘计算在用户附近提供服务,近距离服务保证了较低的网络延迟,简单的路由也减少了网络的抖动,使边缘服务比云服务有更强的响应能力。
- 边缘计算则为关键性隐私数据的存储与使用提供了基础设施,提升数据的安全性。

边缘计算因为其突出的优点,满足未来万物互联的需求,从2016年开始迅速升温,引起全球的密切关注。目前,关于边缘计算的研究有很多,如关于边缘计算数据安全与隐私保护的研究^[1]、关于移动边

缘计算通信方式的研究^[2],也有关于移动边缘计算架构的研究^[3]等,但是目前还没有关于边缘计算中数据驱动的智能应用的研究。

不同于目前关于边缘计算的研究综述,本文中我们第一次从边缘计算与数据驱动的智能应用相结合的角度做全面的研究综述,以期对这一极具前景的领域提供全面的概览以及展望。物联网终端产生的“海量级”数据所蕴含的巨大潜在价值将会促使由数据驱动的智能应用的飞速发展。而在边缘计算模式下,搭载在网络边缘侧由数据驱动的智能应用将会表现出更强的响应能力。因为数据可以在靠近源头侧进行处理,在用户附近提供服务,近距离服务保证了网络延迟,简单的路由减少了网络抖动。综合以上2点,有理由相信在边缘计算模式下,由数据驱动的智能应用将会得到更快、更大的发展,尤其会在提升个性化客户体验、优化客户互动、提高运营效率、启用新的业务模型方面发挥重要作用。数据驱动的智能将在深度和广度多个维度下全面影响未来的社会和世界。

本文中,我们针对于边缘计算中的数据驱动的智能应用进行详尽的归类、分析和总结,以期为边缘计算领域的研究人员,尤其是针对于边缘计算中数据驱动的智能应用有关的研究人员提供一个全面的参考。本文的贡献为:(1)率先提请学术与工业界对边缘计算中基于数据驱动的智能应用这一子领域进行关注;(2)广泛地分析、分类并总结了诸多具有未来发展潜力的边缘计算研究方向;(3)对具有潜力的多个未来研究方向提出了相应的技术展望。希望可以同各个相关领域的专家一起将边缘计算拓展出更多有理论价值和实用价值的研究成果。

1 面向智能应用的边缘体系架构

本文中,我们定义的是面向智能应用的边缘计算体系架构。边缘指的是网络中作为计算节点的物联网设备在地理上分布于企业或其他网络的边缘。边缘计算是指数据或任务能够在靠近数据源头的网络边缘侧执行计算的一种新型服务模型,其动机是将服务器资源、数据分析以及人工智能等计算更靠近数据产生和收集的源头。如图2所示,面向智能应用的边缘计算体系架构主要包括基础智能应用、边缘网络智能应用以及移动智能应用这3个层次。

1.1 基础智能应用

基础智能应用是指部署在核心基础设施上的智能应用。核心基础设施为网络边缘设备提供核心网络

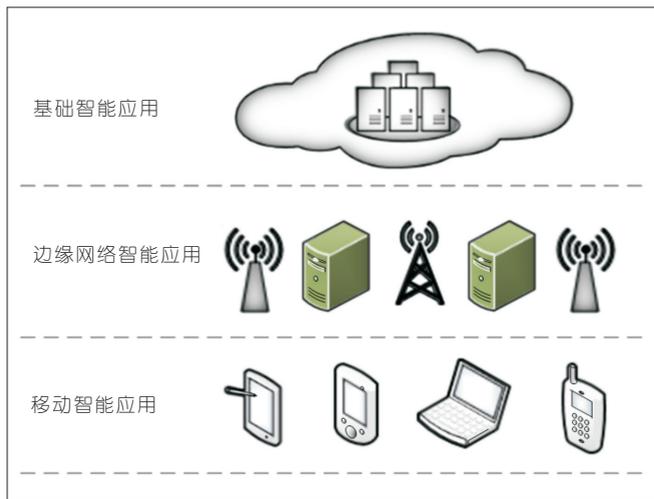


图2 面向智能应用的边缘计算体系架构

接入,核心网络主要包括互联网络、移动核心网络、数据中心等。数据中心为云计算服务提供硬件基础,通常会设立在人口稀少、能源利用率相对较低且不易发生灾害的区域,现代的数据中心通常由成千上万的服务器相互连接组成。数据中心的能源管理是基础智能应用的方向之一。配电单元使用智能来帮助企业或组织绘制能量图;网络化的配电单元,比如美国电力转换公司(APC)的 Switched Rack AP8000 系列和 CyberPower 的监测控制设备,可以提供实时电源监测控制和温度/湿度感应,它们也控制插座级别的电源,以便对设备(例如单个机架式服务器)进行粒度循环。数据中心基础设施管理(DCIM)指从数据中心设施到服务器和设备级别的粒度报告软件。DCIM 工具可帮助信息技术(IT)专业人员进行容量规划、系统库存控制和生命周期管理,工作负载平衡和服务器整合,具体包括:关闭空闲服务器与监测控制和提高系统恢复能力,以及其他基于洞察力的工作举措^[4]。人工智能

可以发挥重大作用:提供深入的洞察力来支持数据中心专家,例如热优化引擎核心的人工智能启用多站点热分析工作正在进行中。这一突破为用户提供了强大的仿真工具,可以提供有关现场无效率或风险区域的实时建议。

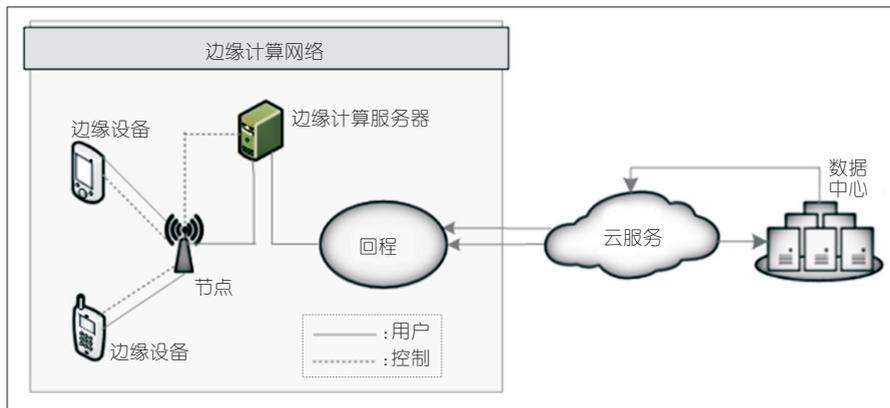
1.2 边缘网络智能应用

边缘网络智能应用指部署在边缘网络节点的智能应用平台。边缘网络位于集中式网络外围,为中央或核心网络提供信息,包括无线网络、移动中心网络和互联网络。边缘网络节点包括蜂窝网络基站、无线网络接入点、路由器等。

目前,许多应用程序依赖于远程数据中心托管的数据和服务,这会加大网络负载,因为数据需要在连接移动设备和远程数据中心的互联网内上传和下载。激增的数据流量会导致网络拥塞和延迟。边缘网络旨在通过将计算任务从互联网转移到边缘设备来减少网络压力和延迟,所以边缘设备需要提供计算和存储服务而不是仅充当移动设备的

接入点。

图3描述了边缘网络的拓扑结构。边缘设备连接到节点转换无线电信号,使得信号可以发送到有线网络和核心网络。边缘服务器通过物理连接部署在节点附近,并且通过在服务器内部循环流量来进一步处理数据。通过以上方式,边缘服务器能够直接在网络边缘处理特定用户需求,而不需要将所有流量转发至远程 Internet 服务。边缘服务器可以直接处理请求并直接响应边缘设备,或者转发请求到远程数据中心请求云服务。到目前为止,移动边缘服务器尚未有部署在蜂窝网络中的实际应用,主要的研究仍仅从理论角度讨论移动边缘服务器的概念。与此概念相关,M. SATYANAYANAN 等人讨论了 Cloudlet 概念。Cloudlet 是一个可信且资源丰富的主机或机群,它部署在网络边缘,与互联网连接,可以被周围的移动设备所访问,为设备提供服务。Cloudlet 可以将资源密集型任务卸载到其他资源上,以提高任务执行速度和延长电池寿命。Cloudlet 软件栈共分3层:第1层是操作系统和缓存,第2层是虚拟化层,第3层是虚拟机实例,负责运行移动设备卸载的应用,在虚拟机中运行应用可以弥补移动设备和 Cloudlet 平台的差异性。Cloudlet 部署在网络边缘,可以被周围的移动设备访问。Cloudlet 平台降低了网络延迟,加快了许多复杂应用的响应速度。移动数据流量持续增长、智能手机的普遍使用和物联网的实现都对移动网络基础设施提出了更



▲ 图3 边缘网络拓扑结构

高的要求,但是移动网络基础设施在最初设计时并未考虑这种新形势下的要求。通过在移动网络边缘加入更多的智能,可以使移动网络运营商能够优化其基础设施,从而应对前所未有的数据流量,加速数据服务,提升用户体验。在网络边缘部署智能可增强延迟关键应用程序,优化运营商网络流量,提供可分析大量信息的分布式计算环境,且可以比传统数据中心环境更快地完成此任务,具体如图4所示。

1.3 移动智能应用

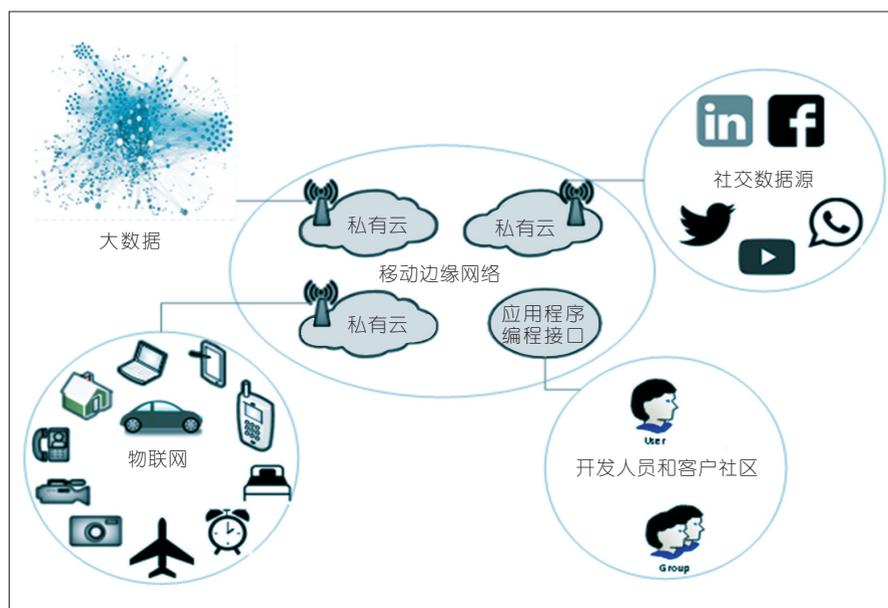
移动智能应用是指部署在移动终端上的智能应用。移动终端包括连接到边缘网络中的所有类型的设备,具体包括智能移动电话、平板电脑、物联网设备等。随着万物互联趋势的加剧,移动终端设备也呈现快速增长的趋势。

边缘计算在蜂窝网络中最明显的优势是减少端到端的延迟。当数据包不必在通过核心网络传到互联网上的应用程序服务器时,应用程序可以提供具有强大、稳定和已知延迟边界的实时服务。边缘计算使

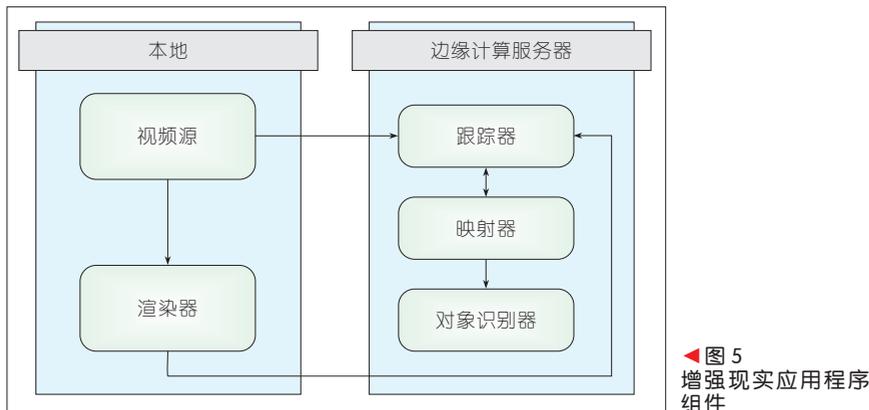
得任务卸载在很多情况下是可行的,因为目前的无线带宽比可用的互联网带宽高。将计算密集型任务卸载到边缘服务器执行这一方式使得越来越多新兴的移动应用程序从中受益。例如,增强现实(AR)应用程序,它将现实世界的应用场景与虚拟信息高度集成,生成能被人类感官感知的信息,来达到超越现实的感官体验。AR可以在移动设备(智能手机、平板电脑、智能眼镜等)上使用,支持新的应用和服务,比如

3D观影、虚拟游戏等。如图5所示,AR应用有5个关键组件^[5]:视频源(从移动摄像机获取原始视频帧)、跟踪器(跟踪用户的位置)、映射器(用于构建环境模型)、对象识别器(用于标识环境中的已知对象)和渲染器(用于准备已处理的帧以进行显示)。在这些组件中,视频源和渲染器应该在本地执行,而其他计算密集型组件,如跟踪器、映射器和对象识别器可以卸载到边缘服务器或云执行。这样,终端设备用户就会享受诸如延迟减少和设备节能等带来的优势。

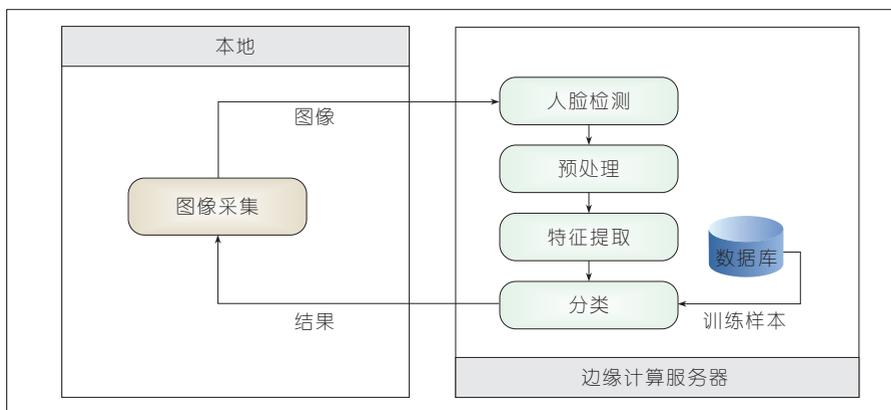
除AR应用程序外,还有人脸识别应用程序很适用于边缘计算模式。如图6所示,人脸识别应用程序通常由5个主要的计算机组件组成:图像采集、人脸检测、预处理、特征提取和分类^[6]。在这些组件中,图像获取组件需要在移动设备上执行以支持用户界面,但是可以把其他包含复杂计算的组件卸载到边缘



▲ 图4 移动边缘网络



▲图5 增强现实应用程序组件



▲图6 人脸识别应用程序组件

服务器处理,比如信号处理和机器学习算法。

总体来讲,边缘计算范式可以给移动运营商、服务提供商和终端移动用户带来很多好处。如果从最终用户的角度去看,面向消费者的服务因为对最终用户直接有利,所以最受关注。通常,用户主要通过计算卸载获益,这使得用户能够在移动终端运行新兴的应用。

2 现有智能应用

2.1 无人驾驶汽车

无人驾驶汽车关键技术包括:环境感知、导航定位、路径规划、决策控制。

环境感知是无人驾驶汽车的关键技术之一。无人驾驶汽车通过环境感知模块辨别车内信息和周围环境信息,为其行为决策提供信息支持。对于车内信息,比如车辆自身的速度、加速度、位置等,主要采用驱动电机、电子罗盘、陀螺仪等传感器进行感知。对于周围环境信息如街道范围、信号灯、路标等信息的识别,主要采用雷达等主动型测距传感器为主、被动型测距传感器为辅的方法实现。对周围环境感知的难点在于对模糊标志的识别,随着计算机视觉和机器学习等技术普及和深入,感知技术近几年有了很大的提高。传感器带回来的信号带有大量的噪音和不确定性,需要采用

传感器融合和定位技术过滤无用信息,将客观世界进行3D或4D还原。可见无人驾驶汽车环境感知技术是以传感器等硬件为基础,大量收集信息,融合处理数据,最终为行为决策提供依据。

2.2 智能数据库

智能数据库包含人工智能组件,可以为搜索的智能操作提供帮助,具有表示知识的方式,并且基于连接主义神经网络模型。连接主义神经网络模型指将新信息与已知的类似信息相关联的模型^[7]。智能数据库与用户交互以确保返回的项目中包含尽可能相关的一些信息。

传统的数据库全文检索技术是使用字符串搜索来匹配用户输入的关键词和短语,但是关键词和短语的匹配并不能保证该文件的内容在给定的上下文中是最相关的。相对于传统数据库,智能数据库提高了查询的灵活性。例如,智能数据库可以根据用户键入的问题,提供根据可能性(从最高到最低)排列的命中列表,返回的结果数据包含对该问题的有用答案。人工智能可以纠正用户的一些输入错误(比如拼写错误),也可以提供关键字的同义词和反义词等供用户进行选择。

智能数据库搜索可以限于特定领域,比如商业新闻、图像、信息技术等,也可以限于某些语言、地理区域或历史时期。智能数据库还可以为用户提供最近的搜索记录;因此如果用户需要优化搜索或重新搜

错,则不必重新开始。

2.3 金融领域智能化

人工智能的最大进步尚未到来,但大数据与机器学习算法的结合已经为金融世界的日常运营带来好处。人工智能正在逐渐改变金融业务核心,其影响主要体现在信用评级(信誉评级)、市场研究、个人助理、资产管理和欺诈检测等方面。大多数银行已经加入人工智能的行列,再过几年认知系统和人工智能的广泛采用有望提高全球收入。国际数据公司(IDC)的一份报告预测:到2020年收入增长可能达到470亿美元。

总部位于美国的富国银行2017年初开始试行人工智能驱动的Facebook聊天机器人。这个虚拟助手能够与用户沟通,响应来自客户的查询,例如查询他们帐户中的当前余额,甚至找到最近的银行自动取款机(ATM)。随着名称为Erica的智能虚拟助手的亮相,美国银行公司大胆推进了人工智能技术。Erica是一个利用“预测分析和认知信息”的聊天机器人,被称为全球最大的支付和金融服务创新活动,为该公司超过4500万客户提供财务指导。作为移动银行体验的一个组成部分,Erica旨在为客户提供“全天候访问并执行日常交易”,同时预测每个客户的独特财务需求并通过提供明智的建议帮助他们实现财务目标。花旗银行对Feedzai进行了战略性投资。Feedzai是一家领先的全球数据科学企业,可以实时识别和消除所有商业渠道中的欺诈行

为,包括在线和面对面的银行业务。通过对大量数据的持续快速评估,Feedzai可以进行大规模分析,识别出欺诈或可疑活动,并迅速提醒客户。该服务还协助支付提供商和零售商监测控制和保护与其公司相关的金融活动。为防止商业中出现的对客户的潜在威胁,Feedzai利用“基于机器的学习”来评估“大数据”和其潜在的欺诈活动。

2.4 智慧城市

Forrester将智慧城市定义为:利用智能计算技术使城市的关键基础设施组件和服务更加智能、互联和高效。关键基础设施组件和服务包括:城市管理、教育、医疗保健、公共安全、房地产、交通和公用事业。

关于智能计算,Forrester将其定义为^[8]:集成硬件、软件和网络的新一代技术,为IT系统提供对现实世界的实时感知和高级分析,帮助人们针对优化业务流程和业务资产负债表结果的备选方案和行动做出更加明智的决策。智慧城市旨在帮助解决城市化进程中遇到的各种问题,例如,资源稀缺、基础设施不足和恶化、能源短缺和价格不稳定、全球环境问题和人类健康问题等。智慧城市需要实时感知、分析整个城市的各项相关信息,会产生大量的原始数据,且这些数据大部分存储在本地,不利于查找和分析,因此,需要一种有效的解决方案进行数据处理。TANG B.^[9]等人提出一种大数据分析框架,该框架使用了边缘计算技术,共分为4层:第1层为传感器网络,由分散在城市的各个传

感器组成,负责生成原始数据;第2层为边缘节点,每个边缘节点都控制一组本地传感器,可以根据预先设定好的模式分析处理原始数据;第3层为中间计算节点,每个中间计算节点控制一组边缘节点,依据边缘节点上传的信息,并且综合时空信息来判断潜在突发事件,且能控制下层设备做出应急反应;第4层为云计算中心,对全市范围进行长期监测控制和分析。该框架因采用边缘计算技术,显著减少了上传到云端的数据量,减少网络延迟,保证其高效运行。

3 边缘计算中数据驱动智能应用的发展与方向

3.1 智能助手

智能助手是一款应用程序,主要通过内建的自然语言或其他易用的交互用户界面来辅助人们处理基本任务。智能语音助手可以基于用户输入的数据帮助回答用户询问,实际上可以帮助人们实时解决问题从而增强人类生产力的机器人。最初,只有智能手机和智能扬声器采用语音助手,现在智能手表、汽车、笔记本电脑、家用电器等越来越多的设备采用语音助手,它正在成为人们与技术设备日常交互的普遍方式。关于启用语音助手的问题,如果设备不停地录制音频并将其发送到云端以验证是否有人向他们发送指令,这不仅涉及隐私问题,也是在浪费能源、计算和网络资源。将所有的数据发送到云端并在服务器端处理将会带来严重的延迟,也会降

低整个系统的可用性。今天的语音接口通常使用关键字或“唤醒字”检测,专用一小部分边缘计算资源(即在设备本身或“边缘”完成的计算)来处理麦克风信号,同时系统的其余部分保持空闲。这是一种节能方法,对于帮助延长便携式电池供电设备(包括智能手机和可穿戴设备)的使用时间尤为重要。检测到关键字以后,设备开始主动监测听查。此时,系统是否能准确解释语音命令很大程度上取决于语音的“干净”程度,也就是说设备在嘈杂的环境中很难准确解释语音,比如会议室、街道、电影院等。

许多边缘计算技术有助于将用户的声音与其他周围的声音分开。例如,波束形成技术处理来自设备中的多个麦克风的音频,以将听力集中在用户正在讲话的方向上,如虚拟定向麦克风。如果用户四处移动,则设备上运行的语音跟踪算法可以调整来自麦克风的信号之间的平衡,因此焦点跟随语音源。高级语音设备还处理来自麦克风阵列的输入,以抑制用户通话中的环境噪声,类似于在降噪耳机中操作的方式。智能扬声器还使用设备上的回声消除技术来实现“插入”功能,这可以抑制麦克风信号中的音乐和其他扬声器声音,从而帮助智能扬声器即使在大声播放音乐时也能接收语音命令。在支持语音的小工具中增加边缘计算功能还支持使用设备上人工智能的创新功能。例如,离线命令允许在互联网连接不可用时进行设备语言处理和基本语音指令的执行。此功能已在智能手

机中广泛使用,即使设备处于飞行模式或超出覆盖范围,也可帮助用户设置警报和提醒。具有高级边缘计算能力的设备还可以执行语音生物识别以进行用户认证。语音设备对优异边缘处理能力的需求推动了异构计算架构的采用:语音设备将各种引擎集成到单个片上系统中,将工作负载分配给最高效的计算引擎,从而改善性能、功效和成本效益,支持包含语音接口的各种设备。

3.2 行业应用

人工智能在边缘计算有关方面的研究与工业潜力巨大。Tractica的一份报告估计:到2025年,人工智能边缘设备出货量将从2018年的1.614亿台增加到全球每年26亿台。就单位数量而言,顶级的人工智能边缘设备将包括手机、智能扬声器、个人电脑/平板电脑、头戴式显示器、汽车传感器、无人机、消费者和企业机器人以及安全摄像头。可穿戴式健康传感器、建筑物或设施传感器还将有更多人工智能。例如,关于智慧城市的共识是智慧城市利用物联网传感器、执行器和技术来连接整个城市的各个部分,要实现智慧城市的愿景就要充分融合物联网技术、人工智能和边缘计算。

这一领域应用前景广阔,如可以帮助解决交通拥堵问题、城市卫生等。关于交通拥堵问题,新加坡通过联网运输解决方案应对了巨大的交通挑战。其智能交通系统(ITS)已经形成了电子道路收费的先锋系统,随着交通量激增公路收费也随之增加。ITS还允许通过具

有全球定位系统(GPS)功能的出租车提供实时交通信息,并整合公共交通结构,同时也能够使公交车更加准时^[10]。城市卫生条件也可以通过智能技术改善,如使用互联网连接的垃圾桶或物联网支持的车队管理系统进行废物收集和垃圾处理,或者是将传感器技术应用于智能废物容器,(它会自动感知什么时候垃圾到达容器的顶部,从而及时通知城市环卫部门收集垃圾)。在医疗设备领域特别是医疗设备急需边缘情报,例如,手术室中的关键数据必须及时处理,以便为医生或医生提供正确的信息。另外,受益的潜在领域是机器视觉,主要使用摄像头和可视化分析。例如,可以将摄像机放置在配送设施中,以便在瞬间监测和管理在卡车和托盘之间移动的货物。

另一个受益的领域是农业。天气状况对于农业来说至关重要,但它又是无法控制的。一家总部位于澳大利亚的农业技术公司The Yield,它使用传感器、数据和人工智能帮助农民做出有关天气、土壤和植物条件的明智决策。

其他的应用还包括新闻。像AP和雅虎这样的公司正在使用人工智能来准备与体育和选举相关的简单报告,而这些报告如果手动完成则需要花费大量时间。据引入Wordsmith的Automated Insights称:包括房地产和电子商务在内的许多数据驱动实体都在使用这个平台。在线零售商店使用人工智能的方式是根据客户过去的购买记录或者放在搜索框中的项目向客户推荐购买

的内容;另一种方法是提供聊天机器人,以寻求指导或解决查询。另外还有智能家居,如恒温器和智能灯,可以在一天中的不同时间以用户想要的方式设置家的温度,还可以利用用户在不同时间段优选的暗淡和亮度来修改室内灯光效果。

4 机遇与挑战

边缘计算中数据驱动的智能应用将有广泛的前景,同时也面对着诸多的技术和实现环境挑战,本节将从以下5个方面对各个机遇挑战进行分析。

4.1 边缘计算中的数据分析

无论是在物联网的终端设备,还是手机、平板等移动端的诸多应用中,智能应用的基础均是对用户数据的收集、分析和建模,从而为客户提供个性化的智能推荐。

想要提取出有价值的信息,首先分析的数据量要大,所需的收集时间要充足;其次,数据分析结果要在时效期内,但也不可以被过早地分析,因为过早分析可能会导致丢失一些重要信息。如何平衡数据分析的价值和时效性是一项挑战。另外,用传统的机器学习的方法去学习用户行为,需要有足够的历史数据,但是在边缘计算的环境下,更多的是实时数据,怎样利用实时数据并且进行快速的分析和预测,将是另一个挑战。

如果可以有效地达成边缘端数据与全局数据的融合从而进行深入分析,必将更高效地推动更多的数据流应用,以及基于本地与全局相

互通的个性化智能推荐与应用。

4.2 边缘计算中数据智能应用的隐私安全

计算机安全、网络安全以及最新出现的越来越紧迫的数据安全与隐私已经引起广泛关注。美国的Facebook以及多家利用用户数据驱动应用的服务商或设备商已因安全及隐私问题在2018年遭受重创。安全与隐私问题也必将受到越来越广泛的关注。而在网络边缘设备产生的大量数据则会涉及更多的包括地理位置、行动轨迹等隐私信息,安全问题更为突出。一方面如何将传统的隐私保护方案和边缘计算环境下的数据处理特性相结合以实现多样化的用户隐私保护需求将成为一个新的挑战;另一方面,如何建立新的隐私保护模型和方法,适应于边缘设备的特性将成为另一个挑战。

边缘网络具有数据边缘性的特点,由此带来的便是数据不会完全被回传至中心网络及中心数据库中。事实上,实现终端数据在边缘设备端完成有效的匿名化和保护,将驱动一系列新的隐私保护策略,例如在数据产生时就进行有效地处理和保护,就不必再担心因中心数据非法接入所带来的各种风险和安全隐患了。

4.3 边缘计算中数据智能应用的接入与移除

边缘服务器以分散的方式部署。移动用户的位置不固定并经常实时发生变化,因此移动终端设备和服务器之间的连接将受到很多限

制,这使得边缘计算中诸多智能应用的接入和移除必须要有创新的形式和特点。首先在接入这些应用时,以何种方式部署就是一个新的挑战,采用分布式的计算架构还是点对点的分布式结构都可能是有效的解决方案,但尤其适配于智能应用的有效方法仍待进一步探索。相应地,当需要移除边缘智能应用程序时则需要具备移动感知能力,以进行资源发现和资源切换。另外,还需要评估卸载决策因素,决定何时将数据卸载到移动边缘计算服务器。由于受到链路质量、噪音干扰和通信拥塞等诸多因素的影响,如何完成这一系列的复杂操作也将极具挑战。

在云计算的不断发展过程中,关于无服务器(serverless)类应用的发展和探索一直没有停息,这类探索也可能成为未来边缘计算中智能应用接入和移除的一个新机遇。针对如何在边缘端建构出轻量级的接入和移除方式,并充分利用无服务器的敏捷特点,很有可能开发出一种新的应用使用模型。这可能是即插即用、即走即弃的方式,也可能将个性化的数据以边缘设备做为轻量载体的方式,从而可以非常容易地在不同的环境场景下切换。

4.4 边缘智能应用准确性和有效性

对于很多行业,例如自动驾驶,错误的决定将会导致严重的后果,所以如何保证决策的准确性和有效性将会一直是一个极具挑战的研究方向。人工智能往往使用大量的时

间并利用大规模的历史数据去“学习”。如何利用现有技术例如迁移学习去节省学习时间或利用对抗学习去模拟生成数据进行决策,都将是极具研究价值的可能方向。在与物理设备或与用户实体世界有交互的应用中,准确性与有效性将决定一个边缘智能应用是否可用。这还将包括对物理安全性、实物可行性,以及高可靠性等诸多方面的要求。无论在哪个方面,如果可能实现非常明显的进展都将有效地推动该领域的发展。

同时,随着准确性和有效性在边缘智能应用上的提高,也必将产生许多新型应用,包括与人类健康相关联的、与养老和教育相关联的,以及对人类世界自动化有更多贡献的诸多未来应用。

4.5 区块链技术的整合

自比特币的创造、发展以及之后所面临的争议来看,其背后支撑的区块链技术逐步走向台前,并从其他多个方向越来越广泛地影响了诸多领域和应用。作为一个无限冗余的分布式数据库系统,区块链给学术界和工业界带来了诸多优势,同时本身存在着一些技术限制,这些都将带来机遇与挑战。首先,在边缘计算有关的智能应用中,点对点的通信与数据共识的达成将成为一个必要条件,而区块链所提供的相应技术集合有效地解决了这一系列问题。其次,区块链技术所带来的智能合约等衍生技术,可以有效地帮助边缘计算中的智能应用,将事件的触发机制上升到一个新的高

度。而且,对于追踪溯源等有关的智能应用,区块链技术将带来前所未有的便利性和可靠性。除此之外,零知识证明等安全技术也由于在区块链中的广泛应用取得了诸多进展,这一技术必将作为解决数据相互信任和隐私安全保护的重要手段而越来越多地被应用于边缘计算中数据驱动的智能应用中。

5 结束语

文中,我们针对边缘计算中数据驱动的智能应用这一子领域进行了全面的综述和比较:首先从物联网的发展以及边缘计算概念出发,综合分析了边缘计算产生的必要性和重要性,并与云计算和大数据等最新发展的技术进行了对比,进一步说明边缘计算的自身特点。在将边缘计算和人工智能相结合的基础上,创新性提出面向智能应用的边缘体系架构,并针对架构中的每一部分,总结了最新文献中的研究成果。我们还对目前已经存在的智能应用,例如无人驾驶汽车、智能数据库以及金融领域智能化应用的最新成果进行了总结。最后,探讨了边缘计算中数据驱动智能应用的发展与方向、机遇和挑战。

参考文献

[1] 张佳乐,赵彦超,陈兵,等.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. DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2018037

[2] WANG S, ZHANG X, ZHANG Y, et al. A Survey on Mobile Edge Networks: Convergence of Computing, Caching and Communications [J]. IEEE Access, 2017, (5):6757-6779. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2685434

[3] MACH P, BECVAR Z. Mobile Edge Computing: A Survey on Architecture and Computation Offloading [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 19(3): 1628-1656. DOI: 10.1109/COMST.2017.2682318

[4] BIGELOW S J. What's Happening in Data

Center Energy Management [EB/OL]. (2014-06)[2018-12-20]. <https://searchdatacenter.techtarget.com/feature/Whats-happening-in-data-center-energy-management>

[5] VERBELEN T, SIMONENS P, TURCK F D, et al. Leveraging Cloudlets for Immersive Collaborative Applications [J]. IEEE Pervasive Computing, 2013, 12(4):30-38. DOI: 10.1109/MPRV.2013.66

[6] JABER Z Q, YOUNIS M I. Design and Implementation of Real Time Face Recognition System (RTFRS) [J]. International Journal of Computer Applications, 2014, 94(12):15-22

[7] SLEIGHT D A. Intelligent Databases: Easing Access to Information (Spring, 1993) [EB/OL]. [2018-12-04]. <https://msu.edu/~sleight/Inteldat.html>

[8] BARTELS A, PARKER A, DALEY E. Smart Computing Drives the New Era of IT Growth [EB/OL]. [2018-12-04]. <https://www.forrester.com/report/Smart%20Computing%20Drives%20The%20New%20Era%20Of%20IT%20Growth/-/E-RES55157?src=55590pdf&docid=55157>

[9] TANG B, CHEN Z, GERALD, et al. A Hierarchical Distributed Fog Computing Architecture for Big Data Analysis in Smart Cities[C]// Proceedings of the ASE BigData & SocialInformatics 2015. USA: ACM, 2015. DOI: 10.1145/2818869.2818898

[10] Insights Team. Anatomy of A Smart City: Four Stars On The Global Stage [EB/OL]. (2018-10-24)[2018-12-20]. <https://www.forbes.com/sites/insights-inteliot/2018/10/24/anatomy-of-a-smart-city-four-stars-on-the-global-stage/#d6d115f52437>

作者简介



秦永彬, 贵州大学计算机科学与技术学院副院长、教授、博士生导师, 贵州省公共大数据重点实验室副主任, 贵州省软件工程与信息安全特色重点实验室常务副主任; 主要研究方向为机器学习、文本分析与算法设计。



韩蒙, 美国肯尼索州立大学(原美国南方州立理工大学)助理教授、数据驱动智能研究实验室主任; 主要研究方向为数据驱动的智能算法及深度学习, 以及与区块链技术有关的数据安全与隐私保护等。



杨清亮, 美国肯尼索州立大学在读硕士研究生、数据驱动智能研究实验室助理; 主要研究方向为金融科技以及数据分析及有关的解决方案设计; 已发表会议论文2篇。