



ericsson.com

# 云计算的未来

爱立信技术评论

# 云计算的未来

## 高度分布式异构硬件

随着庞大的分布式系统(电信网络)已经形成,电信业在向分布式云计算过渡方面具有显著优势。然而,为提供一流的应用程序性能,运营商还必须具有充分利用异构计算和存储功能的能力。

.....  
 WOLFGANG JOHN、  
 CHANDRAMOULI SARGOR、  
 ROBERT SZABO、  
 AHSAN JAVED AWAN、  
 CHAKRIPADALA、  
 EDVARD DRAKE、  
 MARTIN JULIEN、  
 MILJENKO OSENIKA  
 .....

云不仅大大改变了分布的范围,还显著提高了计算和存储功能的多样性。内部和边缘数据中心(DC)正在兴起,硬件(HW)加速器正在成为不可或缺的组件,并参与到之前只能由软件提供的服务中。

■在托管于专用中央数据中心中的同质、通用、商用现货(COTS)硬件上运行各种类型的工作负载,从而降低成本的这一承诺,是进入虚拟化和云时代的主要驱动力之一。

然而多年以来,随着现有用例的逐渐成熟和新用例的不断涌现,延迟、能效、隐私和弹性需求变得越来越严格,海量数据存储需求也在随之不断增加。

为了满足性能、成本或相关法律要求,云资源正在向网络边缘移动,以便弥补资源有限的终端与遥远却功能强大的云数据中心之间的差距。同时,运营商正在通过专用可编程硬件资源来扩充传统的商用现货(COTS)硬件,以满足某些应用的严格性能要求和远程站点有限的能源预算。

其结果是，云计算资源的异构程度越来越大，同时广泛分布在多个位置的较小数据中心之间。这种情况下，必须重新考虑云部署才能应对此类深度转型所带来的复杂性和技术挑战。

有关电信网络方面的主要挑战，在以下领域当中有所体现：

1. 专用硬件资源的虚拟化
2. 异构硬件功能开放
3. 硬件感知的工作负载分布
4. 管理日益增加的复杂性。

如能适当处理所有这些问题，未来的网络平台将能够利用智能分布在网络中的硬件创新来提供最佳的应用性能，同时继续享用云计算模式带来的运营和业务优势。

图1显示了与编排/运营支撑系统(OSS)层、应用层、运行时和操作系统/管理程序相关的四个主要挑战。该图的下半部分提供了电信环境中的一些专用硬件示例，其中包括领域专用加速器、下一代内存和存储以及新颖的互联技术。

### 计算和存储趋势

随着摩尔定律[2]不可避免地走向终结，开发人员不能再假设快速增长的应用资源需求可以通过速度更快的下一代通用芯片满足。相反，一组被称为领域专用加速器的非常异构芯片组正在试图以同时节省成本和能源的方式，来增强商品硬件的性能。

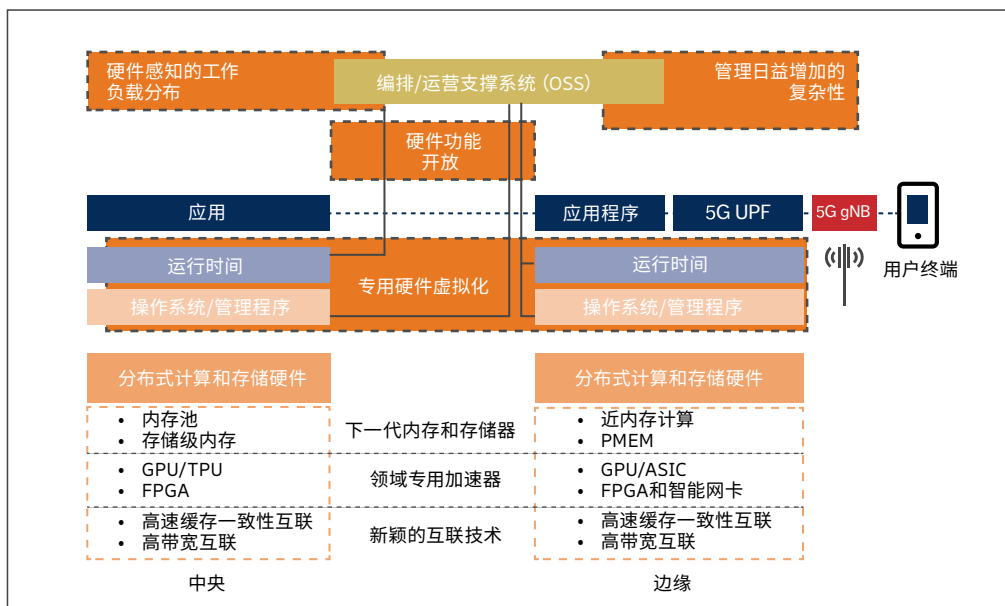


图1 四个主要挑战对硬件基础架构堆栈(顶部)和异构性(底部)的影响

例如，数据密集型应用可以利用图形处理单元 (GPU) 或张量处理单元 (TPU) 中的大规模并行化优势；而延迟敏感型应用或能耗预算有限的应用则可以利用现场可编程门阵列 (FPGA)。这些趋势表明，在不久的将来加速器的采用会呈现出迅猛增长之势。

新兴数据密集型应用不断增长的存储容量需求必须通过下一代存储器来满足。下一代存储器旨在模糊传统易失性和持久性存储技术之间的严格界限——提供接近当今随机存取存储器 (RAM) 技术的存储容量和持久性功能以及字节寻址能力和存取速度。此类持久化内存 (PMEM) 技术[3] 既可以用作大容量级易失性存储器，也可以用作相对固态硬盘而言具有更低延迟和更高带宽的存储器。

## 这些趋势表明，加速器的应用正在迅速增加……

3D 芯片堆叠技术推动计算单元直接嵌入到内存和存储结构中，开启了近内存处理模式[1]。这项技术可以减少计算与存储单元之间的数据传

输、提高性能和降低能耗。

最后，互联技术的进步将实现更快的速度、更大的容量、更低的延迟/抖动，从而支持节点内和集群内各种内存和处理资源之间的通信。例如，计算快速链接技术 (Compute Express Link, CXL) [4] 和总线结构或协议 (Gen-Z) 等现代互联技术具有缓存一致性特征，可以实现对整个计算基础架构中的配置寄存器和内存区域的直接访问。这将能够简化加速器的可编程性，并促进异构硬件之间的精细化数据共享。

### 分布式云中异构硬件的支撑

虽然异构硬件和分布式计算资源的结合带来了独特的挑战，但仍有办法可将其逐个击破。

### 专用硬件虚拟化

在云端采用专用硬件将允许多个租户使用同一个硬件，但彼此之间就像是唯一用户一样不会出现数据泄密问题。租户可以使用应用编程接口 (API) 随时请求、使用和释放加速器。这种安排需要借助一个抽象层将作业调度至专用硬件，监控其资源使用情况，并动态调整资源分配

以满足性能需求，从而将虚拟化开销降至最低。虽然针对普通商用现货 (COTS) 硬件 (基于 x86 的中央处理器 (CPU)、动态 RAM (DRAM) 和块存储等) 的虚拟化技术最近几十年已经非常成熟，但针对领域的专用加速器虚拟化技术在很大程度上仍然不足以支持生产级应用。

### 硬件功能开放

当前的云架构在很大程度上与专业硬件的功能无关。例如，同一家供应商的所有 GPU 均被视为同等的，无论其确切类型或采用何种制造工艺。为了区分它们，运营商通常会使用唯一标签来标记配备不同加速器的节点，而用户则请求带有特定标签的资源。该模式与通用 CPU 完全不同，因此当用户需要混用多类加速器时，会导致复杂化的形成。

当前的部署规范也无法很好地支持部分分配加速器的请求。就目前而言，即便加速器可以分割，也必须手动将单个物理加速器分解成多个虚拟加速器。解决这些问题需要对专用硬件进行适当的抽象与建模，以便其功能可以通过编排进行解释与整合。

在分布式计算和存储的情况下,对适当模型的选取需求将进一步扩大。这种情况下,最佳站点位置将取决于应用需求(如有限延迟或吞吐量限制)以及站点中的可用资源和硬件功能。编程和编排模式必须允许选择适当的软件(SW)选项。例如,仅在中等需求的情况下才选择软件,或者通过硬件加速功能来补充软件以满足严格需求等。

由于是否具有硬件加速功能可能会对软件部署选项的资源足迹产生巨大影响,因此,站点必须开放其硬件功能,以便能够构建资源和功能的

拓扑图。在开放和抽象过程中,必须要隐藏专有功能及其接口,并将其映射到有望很快出台的(正式或非正式)行业标准中。资源和功能的建模与抽象乃是选择适当位置及应用部署选项和风格的必要先决条件。

#### 异构分布式云的编排

基于分布式环境中资源和功能的全局视图,编排系统(电信术语中的OSS)在分布式环境的计算和存储中通常负责设计和分配应用工作负载。这意味着在针对特定的应用软件需求来决定工作负载的最佳分布

时,还应考虑相关站点中有哪些类型的硬件组件可供使用。

考虑到现在和近期硬件加速器的价格和功率限制,边缘云站点中的硬件加速器将非常稀缺,因此需要采用适当的工作负载优先级分配和资源抢占机制来进行调配。不同于传统的IT云环境,分布式云环境允许使用远程资源和功能。

## 关键术语的定义

**边缘计算**可将分布式计算和存储资源部署在更加靠近需要/消耗它们的位置。

**分布式云**为跨多个站点的云应用优化提供了执行环境,包括所需的站点间连接。该执行环境作为单一解决方案进行管理,并且也被应用程序视为单一解决方案。

**硬件加速器**是一种设备,针对某些功能而言,硬件加速器的效率/性能远远高于运行在通用中央处理器上的软件。加速不同的功能可能需要不同的硬件加速器。

**永久内存**是一种新兴的存储技术,具有模块可寻址存储器的容量和永久性优势,还具有接近当今随机存取技术的字节寻址能力和存取速度。永久内存也称为存储级内存。

**摩尔定律**认为:密集集成电路中的晶体管数量大约每两年翻一番,因此无需重新设计软件即可提高应用的计算性能。然而,自2010年以来,物理限制使得晶体管尺寸减小变得愈发困难和昂贵。

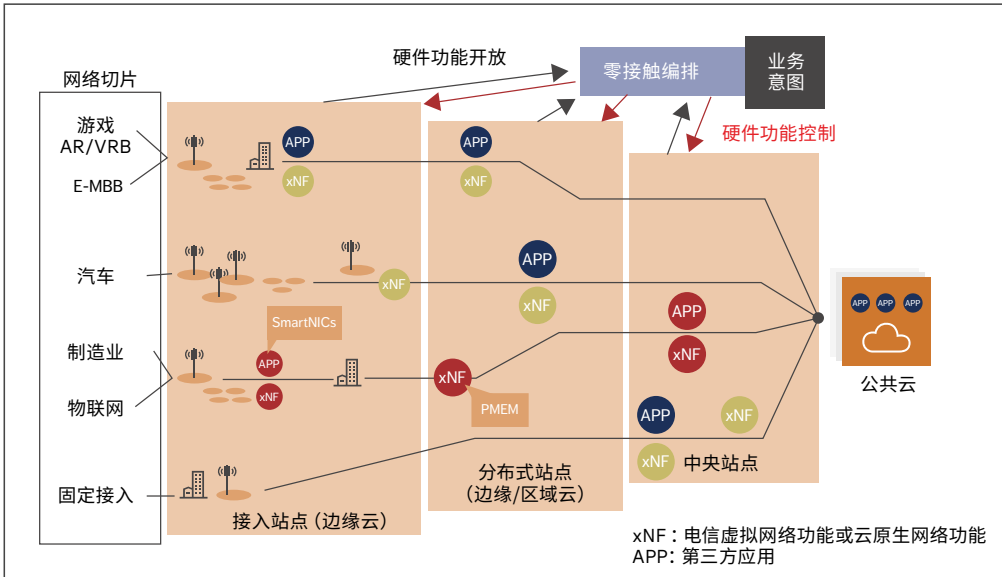


图2 集成网络切片 (电信) 和第三方应用

此外, 托管在电信云中的电信应用和工作负载可能需要履行更为严格的服务水平协议 (SLA)。面向新工作负载的优先级分配和资源抢占机制只有在功能或资源已被占用的情况下才是可行的选择。然而, 将被驱赶的工作负载迁移到新位置或新的软件和硬件部署选项, 对于在抢占期间最大程度地避免服务中断非常重要。

### 管理日益增加的复杂性

基于人工脚本和/或规则手册的传统自动化技术无法通过扩展来解决异构分布式云的复杂性问题。我们可

以看到, 自动化模式已经开始从人工引导的自动化转向基于机器推理的自动化, 例如: 认知人工智能 (AI) 技术。具体而言, 这是一种刚刚出现的新模式, 它将人类向云系统的信息输入限定在满足指定业务目标 (意图) 所需的范围内, 然后由云系统计算出如何通过最佳方式来实现这些目标/意图。

图2展示了一个包含访问站点、区域和中央数据中心以及公共云的示例性分布式云环境。它假设: 制造业网络切片同时包括电信 (xNF) 和第三方工作负载 (APP), 其中一个APP需

要通过智能网卡进行网络加速, 而另一个xNF则依赖于PMEM。

该环境中包括根据客户需求创建的多个网络切片。不同的网络切片不仅面向不同需求的服务, 而且还彼此分离和隔离。硬件加速器的汇总视图按位置集中在一起, 以支持零接触编排服务 (灰色箭头)。

当有服务请求到达时，编排服务将基于实际的服务需求、服务接入点和业务意图来设计服务实例拓扑，并给每个服务组件实例分配资源（红色箭头）。

### 机会和用例

我们以RAN为例说明支持电信网络持续云化的机会。RAN协议上层和下层的功能分割使得利用网络功能虚拟化（NFV）和分布式计算基础架构来实现易于部署和管理成为可能。上层的异步功能也许可以在商用现货（COTS）硬件上运行。

然而，要满足下层RAN功能的严格性能标准，需要一组专用硬件。例如，调度、链路适配、功率控制或干扰协调等媒体访问控制层中的时间同步功能通常需要其接口具有高数据速率，并且能够随流量、信号带宽和天线数量的变化进行扩展。目前的通用处理能力很难满足这些需求。

同样，分组数据融合协议层中的解码功能、前传链路的压缩/解压缩方案以及物理层中的信道解码和调制功能，都将从硬件加速中受益。

满足4G/5G RAN回传数据流的安全需求必须使用IP安全协议（IPsec）。通过将加密/解密功能分流到专用硬件，如智能网卡（SmartNIC）和应用特定的集成电路（ASIC）或FPGA，可

以将与IPsec相关的处理开销降至最低。这对于提高传输网络中的数据速率至关重要。

通过GPU，5G核心网中的网络数据分析功能可以使用实时网络数据来加速训练机器学习（ML）模型。互联增强功能（如缓存一致性）使各种加速器和CPU更容易协同工作。互联还能实现站点和节点内的低延迟和高带宽。无论是从规模还是从延迟的角度看，某些核心网络功能（如用户数据库功能）对内存的需求都在不断增长。PMEM的规模优势与双倍数据速率存储器的低延迟优势巧妙结合，将能够满足这些需求。

虽然这些机会是电信运营商特有的，但也有几类第三方应用能够受益于电信基础架构的分布式计算和存储能力。工业4.0中便包括几个可以利用硬件优化处理能力的用例。室内定位通常需要对高清图像进行处理，以准确确定目标对象相对于室内其他对象的位置。这是通常使用GPU/FPGA的计算密集型应用。同样，增强现实（AR）/虚拟现实（VR）技术能否在智能制造中用于远程协助、培训或维护，很大程度上取决于能否利用硬件加速和边缘计算来优化性能并降低延迟。

游戏行业也在经历重大的技术变革，特别是远程渲染及混合现实技术，将对消费者体验产生深远影响。

这些技术依赖于可在边缘进行硬件加速的底层分布式云基础架构，既可将消费者终端从处理任务中解放出来，同时又能继续满足严格的延迟需求。

此外，汽车行业的一些用例拥有严格的延迟要求，需要在远程站点以GPU和FPGA的形式进行硬件加速。实例包括在车辆或路边基础设施处理的视频流中实时检测对象。

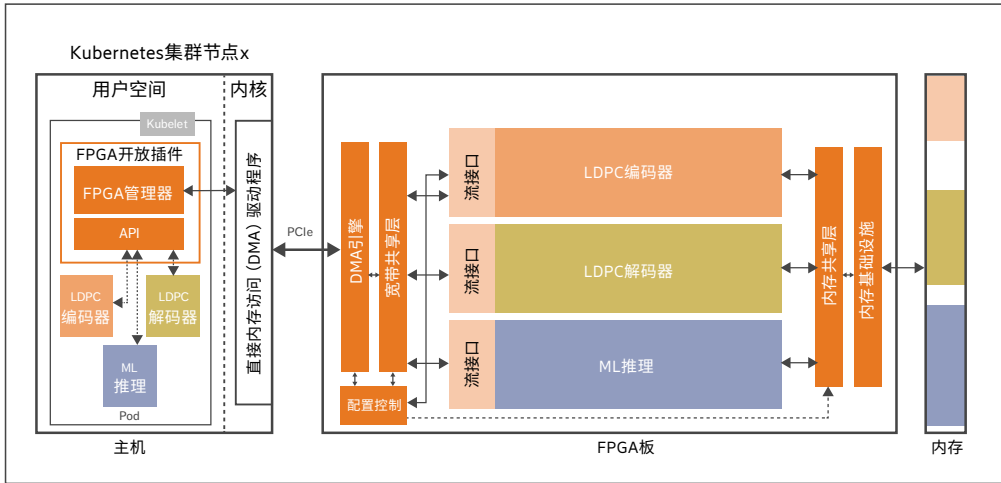


图3 FPGA共享解决方案

初步证据

我们在分布式云领域的研究已经获得了几个初步证据,可以证明爱立信在充分利用异构计算和存储能力为客户提供一流应用性能方面占据领导地位。

虚拟化异构硬件

3GPP网络的演进导致载波带宽提高到太赫兹水平以及MIMO(多输入多输出)层和天线端口不断增多,因此需要显著提升计算能力。高端GPU可以提供所需的计算能力。为了了解如何在GPU上实施5G基带,爱立信已与英伟达(NVIDIA)达成了合作。早期的研究结果表明,GPU指令集和统一计算终端架构(CUDA)软件设计模式在关键接收器算法方面优于纯CPU解决方案,这表明为此进一步研究GPU确实是一个可行的方向。

由于高端GPU往往价格昂贵,并且可能无法在分布式云的每个节点上使用,爱立信研发中心还设计了解决方案,没有本地GPU时,托管在节点上的应用可以使用OpenStack和Kubernetes访问GPU。如果节点间有高速网络,GPU请求将在本地被拦截并转向远程GPU服务器处理。

FPGA可能是满足RAN功能需求以及托管在电信边缘的第三方应用需求的另一种选择。爱立信研发中心已经能够通过Kubernetes在FPGA上提供多租户支持,以便需要硬件加速的多应用容器可以共享FPGA的内部资源、片外DRAM和外围组件快速互连(PCIe)带宽,如图3所示。

在左侧,一个节点上的三个应用容器(Pod)是通过Kubernetes管理的。我们的FPGA开放插件通过提供三

个彼此隔离的虚拟FPGA来支持这些Pod。在右侧,三个独立的FPGA区域(每个应用容器对应一个)是通过我们的硬件管理层管理和开放的,由PCI带宽和内存共享功能(图中FPGA部分的橙色框)组成。

硬件管理层采用局部重配置技术来支持FPGA的空间分割,以实现资源共享,其中包括用于动态分配PCIe带宽的带宽共享层。内存共享层可以保护租户避免片外DRAM数据泄漏。它为内部重新配置添加了一个保护层,以防意外配置。该解决方案已使用多个区域进行了验证,可与机器学习推理功能与5G低密度奇偶校验(LDPC)码的编码器和解码器加速器共置在一起。但实际上,任何电信或第三方应用加速器都可以在这些局部区域内部署,具体数量可能取决于FPGA的大小和应用程序的资源需求。

虚拟交换机是分布式云基础架构中不可或缺的组成部分,通过连接虚拟和物理网络接口为虚拟机提供网络访问。这些虚拟交换机的开销是分组处理功能实现高吞吐量的主要

障碍之一。我们的解决方案可将虚拟交换机的数据平面分流到专用硬件上(本例中是基于FPGA的智能网卡),从而在虚拟化环境中实现尽可能高的网络输入/输出性能,并释放CPU用于执行其他功能和应用程序。

#### 编排异构分布式云

对于需要领域专用硬件的5G用例而言,满足其各种加速需求需要智能工作负载分布方案,证据有二:

首先,我们为了优化边缘工作负载部署而开发的硬件感知服务实例设计和工作负载分布机制。我们已经在只有部分节点配备了PMEM的Kubernetes边缘集群上针对电信分组核心网关(PCG)用户平面功能(UPF)演示了按需服务实例设计、优先级分配和抢占机制。其中PCG-UPF被认为是高优先级工作负载,可

以使用PMEM来分配保持弹性所需的数据库实例。

PCG-UPF实例化期间,使用PMEM的另一个工作负载将被驱赶。此时面临的挑战是如何在满足低优先级工作负载原始服务需求的同时将其迁移至新主机。在这里,低优先级工作负载与其他组件具有亲和性,导致这些组件会与工作负载一起自动迁移,从而无法提供PCG-UPF所需的PMEM。即时触发迁移工作流能够最大限度地缩短被驱赶流量的服务中断时间。

#### 术语和缩写

AI – 人工智能 | API – 应用编程接口 | AR – 增强现实 | ASIC – 专用集成电路 | COTS – 商用现货 | CPU – 中央处理器 | DC – 数据中心 | DRAM – 动态随机存取存储器 | E-WBB – 增强型移动宽带 | FPGA – 现场可编程门阵列 | GNB – 下一代NodeB (3GPP下一代基站) | GPU – 图形处理单元 | HW – 硬件 | IPsec – IP安全协议 | LDPC – 低密度奇偶校验 | ML – 机器学习 | NFV – 网络功能虚拟化 | OSS – 运营支持系统 | PCG – 分组核心网关 | PCIe – 外围组件快速互连 | PMEM – 永久内存 | RAM – 随机存取存储器 | SLA – 服务水平协议 | SmartNIC – 智能网卡 | TPU – 张量处理单元 | UPF – 用户平面功能 | VR – 虚拟现实 | xNF – 电信和第三方网络功能

我们的第二个证据演示了我们如何允许分布式应用以透明方式利用非易失性存储器的增强容量和持久性优势。虽然PMEM可以用来弥补近年来DRAM容量的增速缓慢问题,但由于PMEM延迟稍高,可能导致性能下降。

爱立信研发中心开发的内存分层概念可以根据观察到的应用行为在DRAM和PMEM之间动态分布/迁移应用数据。该基础架构可在混用PMEM和DRAM的情况下使用低级别的CPU性能计数器来驱动数据分布决策,无需对应用进行任何更改即可获得与DRAM类似的性能。

## 为构建普遍适用的集成网络计算结构铺平道路

### 复杂性管理

异构和分布式云意味着提供服务保证是一项极为复杂的任务。具体来说,这意味着在动态变化的环境中不断寻找最佳配置。经证实,爱立信的认知层可在满足签约SLA的同时保障云服务。

这个认知过程能够评估计划实施的新服务部署对所有现有服务及其SLA履约的影响。此外,这个认知层还能不断地进行重新评估,以便了解是否所有服务的当前部署仍是最佳选择、搜索更好的配置、并使用预测模型来驱动主动采取行动,从而使云环境能够智能自主地运行。

### 结语

随着计算和存储功能的日益多样化,云环境变得越来越分散。数据中心开始在电信网络边缘和客户地出现,硬件(HW)加速器正成为重要组件,参与到之前只能由软件提供的服务中。由于摩尔定律不可避免地走向终结,硬件加速器的重要性和使用率只会继续增加,给现有的开放和编排解决方案带来了重大挑战。

为了应对这些挑战,爱立信正在三个关键领域进行创新:首先,我们将虚拟化技术作为领域专用加速器,以支持特定硬件的共享和多租户使用;其次,我们将零接触编排用于硬件加速器,其中包括编排系统的硬

件功能开放与聚合,以及旨在基于资源和加速器功能的抽象映射来设计和分配服务实例的自动化机制;第三,我们正在使用人工智能和认知技术来解决技术复杂性问题并优化业务价值。

通过重新定义云来开放和优化异构资源的使用并非易事,并在某种程度上与集中化和同质化趋势背道而驰。但我们相信,我们的用例和证据将能够证明我们的方法是正确的,并将在电信界及其他领域获得增长势头,从而为构建普遍适用于电信网络的集成网络计算结构[5]铺平道路。

## 参考文献

1. ArXiv网站,《近内存计算:过去、现在和未来》(Near-Memory Computing: Past, Present, and Future), 2019年8月7日, Gagandeep Singh等编著, 参见:<https://arxiv.org/pdf/1908.02640.pdf>
2. 《自然杂志》“根据摩尔定律,芯片崩了吗”(The chips are down for Moore's law), 2016年2月9日, M. Mitchell Waldrop编著, 参见:<https://www.nature.com/news/the-chips-are-down-for-moores-law-1.19338>
3. 《Admin杂志》,“永久内存将如何改变计算格局”(How Persistent Memory Will Change Computing), Jeff Layton编著, 参见:<https://www.admin-magazine.com/HPC/Articles/Persistent-Memory>
4. 《计算快速链接技术(CXL),实现CPU与终端间的突破性互连》(CXL, Compute Express Link, Breakthrough CPU-to-device interconnect), 参见:<https://www.computeexpresslink.org/>
5. 爱立信,《网络计算结构》(Network compute fabric), 参见:<https://www.ericsson.com/en/future-technologies/network-compute-fabric>

## 补充读物

- 》 爱立信博客,“分布式计算和存储将如何改进未来的网络”(How will distributed compute and storage improve future networks), 参见:<https://www.ericsson.com/en/blog/2020/2/distributed-compute-and-storage-technology-trend>
- 》 爱立信白皮书,《针对通信运营商的边缘计算和部署策略》(Edge computing and deployment strategies for communication service provider), 参见:<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/edge-computing-and-deployment-strategies-for-communication-service-providers>
- 》 爱立信博客,“云演进:意图感知云时代”(Cloud evolution: the era of intent-aware clouds), 参见:<https://www.ericsson.com/en/blog/2019/5/cloud-evolution-the-era-of-intent-aware-clouds>
- 》 爱立信博客,“何为网络切片?”(What is network slicing?), 参见:<https://www.ericsson.com/en/blog/2018/1/what-is-network-slicing>
- 》 爱立信博客,“虚拟化5G RAN:为何需要、何时需要及如何进行?”(Virtualized 5G RAN: why, when and how?), 参见:<https://www.ericsson.com/en/blog/2020/2/virtualized-5g-ran-why-when-and-how>
- 》 《爱立信技术评论:网络和业务自动化中的认知技术》(Ericsson Technology Review, Cognitive technologies in network and business automation), 参见:<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/cognitive-technologies-in-network-and-business-automation>
- 》 爱立信,《5G网络安全指南》(A guide to 5G network security), 参见:<https://www.ericsson.com/en/security/a-guide-to-5g-network-security>
- 》 爱立信,《5G核心网》(5G Core), 参见:<https://www.ericsson.com/en/digital-services/offerings/core-network/5g-core>
- 》 爱立信,《边缘计算》(Edge computing), 参见:<https://www.ericsson.com/en/digital-services/trending/edge-computing>

## 作者简介



**Wolfgang John**

斯德哥尔摩爱立信研发中心的研究负责人和科学家。他目前的研究主要集中在针对电信和IT应用的分布式云计算系统和平台概念上。自2011年加入爱立信以来,他还对NFV、软件定义网络和网络管理进行了研究。John拥有瑞典哥德堡查尔姆斯理工大学(Chalmers University of Technology)计算机工程专业博士学位,与人合著了50多篇科学论文和报告,持有多项专利。



**Robert Szabo**

于2013年加入爱立信,现任匈牙利爱立信研发中心的云系统和平台首席研究员。目前,他的工作主要集中在分布式/边缘云、用于编排的零接触自动化和NFV领域。Szabo是80多本出版物的合著者,拥有匈牙利布达佩斯科技经济大学(Budapest University of Technology and Economics)电气工程专业博士学位和工商管理硕士学位。



**Chakri Padala**

于2007年加入爱立信,现任印度班加罗尔爱立信研发中心的云系统和平台首席研究员。他的研究领域包括新的内存/存储技术、软件功能加速和操作系统堆栈。Padala拥有美国路易斯安那大学拉斐特分校(University of Louisiana at Lafayette)理工硕士学位和印度瓦兰加尔国家理工学院(National Institute of Technology)理工学士学位。



**Chandramouli Sargor**

印度班加罗尔爱立信全球人工智能加速器中心的AI设计团队负责人。他于2007年加入爱立信,在此之前,他负责领导班加罗尔爱立信研发团队专注研究高级云和AI技术,包括使用新兴硬件构建颠覆性的云计算解决方案。

Sargor拥有孟买印度理工学院(Indian Institute of Technology)电气工程专业理工学士学位以及美国北卡罗莱纳州立大学(North Carolina State University)计算机工程专业理工硕士学位。他与人合著了超过25项专利论文和若干出版物。



**Ahsan Javed Awan**

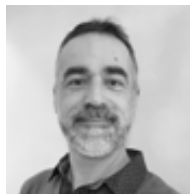
爱立信研发中心研究仓库级计算机的资深研究员。在2018年加入爱立信之前,他曾在伦敦帝国理工学院(Imperial College London)、日本东京IBM研发中心和西班牙巴塞罗那超级计算中心(Barcelona Supercomputing Center)工作。Awan凭借扩展服务器上内存数据分析的性能表征和优化研究成果而获得瑞典斯德哥尔摩瑞典皇家理工学院(KTH Royal Institute of Technology)和西班牙巴塞罗那加泰罗尼亚大学理工大学(Universitat Politècnica de Catalunya) Erasmus Mundus联合博士学位。



**Edvard Drake**

于1993年加入爱立信。自本世纪初以来,他一直与许多主要技术供应商保持着深入的技术合作关系,主要是作为爱立信公司的多媒体、运营支持系统/业务支撑系统和数字服务部门成员来全方位地收集技术发展洞察。Drake目前是平台技术领域技术专家,负责技术情报/侦察和架构方面的工作。他拥有瑞典于默奥大学(Umeå University)计算机科学专业理学学士学位。

## 作者简介



**Martin Julien**

于1995年加入爱立信,目前是云系统和平台方面的高级专家。他在分布式系统、网络和光互连领域拥有深厚的专业知识,在创新云系统基础架构产品的开发中发挥了重要作用。Julien目前的工作主要专注于云加速和云智能,目的是利用先进的硬件分流功能和AI技术。他拥有加拿大舍布鲁克大学(Sherbrooke University)工学学士学位。



**Miljenko Opsenica**

于1998年加入爱立信,目前是芬兰爱立信研发中心(NomadicLab)的首席研究员,主要从事云架构和技术、编排框架和自动化方面的工作。Opsenica还领导爱立信研发中心专注于集成边缘架构、跨资源域交互和性能优化管理的集成连接和边缘项目。他拥有克罗地亚萨格勒布大学(University of Zagreb)电气工程和计算专业理工硕士学位。

### 感谢

Jörg Niemöller、  
Fetahi Wuhib、  
Andrew Williams、  
Torbjörn Keisu、  
Daniel Seiler、  
Jonas Falkenå、  
Jonas Bjurel、  
Tobias Lindqvist  
和Azimeh Sefidcon  
对本文做出的贡献。

## 关于爱立信

爱立信助力通信运营商捕捉连接的全方位价值。我们的业务组合跨网络、数字服务、管理服务和新兴业务，帮助我们的客户提高效率，实现数字化转型，找到新的收入来源。爱立信持续投资创新，从固定电话到移动宽带，致力服务全球数十亿用户。爱立信在斯德哥尔摩纳斯达克交易所和纽约纳斯达克交易所上市。

更多信息请访问 [www.ericsson.com/cn](http://www.ericsson.com/cn)

## 欢迎关注

爱立信官方微信



更多信息，请联系  
[ericsson.china@ericsson.com](mailto:ericsson.china@ericsson.com)

©爱立信（中国）通信有限公司  
版权所有2020