

文章编号:1007-5321(2018)05-0086-06

DOI:10.13190/j.jbupt.2018-169

5G 中多接入边缘计算的联合部署架构设计

陈 昕, 温向明, 王鲁晗, 路兆铭

(1. 北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100876;

2. 北京邮电大学 网络体系构建与融合北京市重点实验室, 北京 100876)

摘要: 提出了多接入边缘计算(MEC)在接入侧和核心网中的联合部署架构. 利用容器和微服务模式设计 MEC 的敏捷部署方案,通过修改基站的数据面协议栈,完成 MEC 流量高效地分辨和调度,并基于智能域名解析,实现接入网、核心网中 MEC 业务的智能联合调度. 实验测试结果表明,该架构能够根据业务特性合理地分配分布式的 MEC 处理节点,降低了完成任务的时延,提升了可扩展性. 相较于独立部署架构和传统的业务分配方式,本架构在第 5 代移动通信系统(5G)的网络低时延场景下具有更好的性能.

关 键 词: 多接入边缘计算; 第 5 代移动通信系统; 网络架构; 任务分配

中图分类号: TN929.53

文献标志码: A

The Architecture Design of Cooperated Deployment for Multi-Access Edge Computing in 5G

CHEN Xin, WEN Xiang-ming, WANG Lu-han, LU Zhao-ming

(1. School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. Beijing Key Laboratory of Network System Architecture and Convergence, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: A novel architecture of cooperated deployment for multi-access edge computing (MEC) was proposed to integrate the radio access networks and core networks. It makes full use of container technology and micro-service to implement the agile deployment scheme. MEC traffic flow is recognized and forwarded efficiently with a modified the protocol stack of data plane in base stations. Moreover, the intelligent domain name system was introduced to handle cooperated task allocation of MEC among multiple network elements. According to the results of practical experiments, the proposed architecture may allocate appropriate MEC processing nodes to specific tasks in line with their characteristics to reduce the delay and enhance the scalability. It provides better performance for low-latency scenarios in the fifth generation of mobile communications system(5G) compared with standalone deployment and traditional task allocation approaches.

Key words: multi-access edge computing; the fifth generation of mobile communications system(5G); network architecture; task allocation

为了提升网络的处理能力,移动/多接入边缘计算(MEC, mobile/multi-access edge computing)由欧

洲电信标准化协会于 2014 年提出,以此为无线接入网(RAN, radio access network)提供 IT 和云计算能

收稿日期: 2018-08-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0112802); 国家科技重大专项项目(2018ZX030110004); 北京邮电大学基本科研业务费项目(2018RC06)

作者简介: 陈 昕(1991—), 男, 博士生, E-mail: chenxin2014@bupt.edu.cn; 温向明(1959—), 男, 教授, 博士生导师.

力. 部署在接入侧的边缘服务器具备了本地处理应用层业务的能力,并结合 RAN 提供的无线侧相关信息,能够实现低延时、高带宽和网络上下文感知的业务特性^[1]. 在第 5 代移动通信系统(5G, the fifth generation of mobile communications system)网络中,由于需要对多种业务场景提供特定的服务质量(QoS, quality of service)支持,例如高带宽需求的超密集网络、大规模接入场景下的窄带物联网(IoT, internet of things)网络以及无线局域网网络,移动边缘计算将其目标拓展为多接入边缘计算. 与此同时,根据 5G 新型网络架构设计,MEC 的部署位置亦从原先的宏基站和基带处理单元池拓展至核心网的用户面功能(UPF, user plane function)^[2]. 在现有的 MEC 部署架构基础上,本文提出了 MEC 在基站和核心网的联合部署架构,改进了基站侧的协议处理流程,实现基于 IP 地址的业务类型识别,并通过智能域名解析系统(DNS, domain name system)进行 MEC 业务的协同分配. 最后本文通过实验给出了联合部署架构的性能测试和影响性能的参数.

1 多接入边缘计算联合部署架构

5G 中对业务要求的 100 Gbps 吞吐量,端到端毫秒级时延给移动通信技术带来的巨大挑战. 但是随着软件定义网络(SDN, software defined network)、网络功能虚拟化(NFV, network function virtualization)、轻量级容器以及分布式计算的发展,信息技术和通信技术的融合能够将上层功能下沉到网络边缘,提供更靠近用户的数据处理能力,从而降低网络传输的整体压力,缩短端到端传输距离,并简化通信流程^[3]. 这使得 MEC 成为达到 5G 网络性能的关键技术之一.

1.1 MEC 部署主要模式

最初提出实用的边缘计算系统框架的是基于 OpenStack 和虚拟机的 Cloudlet 系统,其设计了可信且计算资源丰富的边缘集群^[4],但受限于 Cloudlet 简单的网络功能,该系统只适用于 WiFi 网络,并且基于中间层的虚拟化方式消耗资源较大,性能降低明显. 随着基于命名空间的隔离技术的成熟,剑桥大学的 Adisorn 等使用 Docker 和树莓派设计了 PiC-asso 系统,并通过本地镜像库提供应用服务,但是该系统受限于硬件条件,只适用于物联网场景,无法支持多媒体和高计算量业务^[5].

Eurecom 的 Navid 等基于 OpenAirInterface 系统

和 SDN 重新改造了 4G 基站,使其能够通过 OpenFlow 流表分离通用分组无线服务隧道协议(GTP, GPRS tunnelling protocol)封装内的本地和核心网流量,将本地流量通过 OpenvSwitch 路由到目标 MEC 服务器^[6],然而 OpenvSwitch 主要利用 CPU 进行软路由,对于高并发大数据量的流量无法做到高效处理. 在此基础上,Intel 公司通过 DPDK 和 NFV 技术提出了 NEV 边缘计算平台^[7],提升了网络转发效率,但是 NEV 局限于 Intel 硬件,而 GTP 重新拆解数据包的方式增加额外的处理负担和单点故障率.

1.2 MEC 联合部署架构设计

欧洲电信标准化协会提出的 MEC 方案主要应用在 RAN 中,而 3GPP 则倾向于将其部署到核心网的 UPF 和应用功能(AF, application function). 为了充分利用二者的优势,需要借鉴双方优势的联合部署架构研究和设计. 由于部署虚拟机需要额外花费大量的资源配置运行环境,同时为了降低将 5G 网元开放给第三方所带来的不安全性,MEC 的联合部署架构拟采用容器的方式部署新 MEC 应用,其架构如图 1 所示.

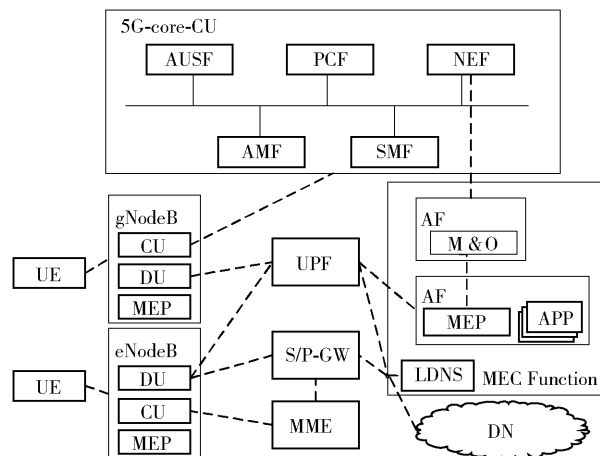


图 1 多接入边缘计算联合部署架构图

在 5G 网络架构中,基于微服务的核心网是网络功能实体演进的重要方向,微服务之间目前比较成熟的接口主要为表征性状态转移(RESTful, representational state transfer)接口^[8]. 用户侧(UE, user equipment)通过 RESTful 接口,辅以 IP 地址加端口号的方式确定具体的参考点,与 MEC 平台进行交互. MEC 网元作为接受用户请求的参考点,位于基站本身或移动核心网内部,因此外部的 DNS 服务器无法解析 MEC 服务的具体地址. 为了解决内部地址解析问题,需要在架构中引入内网 DNS 处理 MEC

的 RESTful 请求. 内网 DNS 根据收集的底层资源数据和用户位置情况决定将用户请求解析到特定的 MEC 网元地址. 为了降低 GTP 解包封包的额外工作, 联合架构在基站内部进行业务的分流. MEC 业务和一般业务经由两个不同的协议栈处理, MEC 业务以基站为网关, 直接转发至目标地址.

考虑到在 5G 初步部署场景下还大量存在 4G 基站 (eNodeB), 4G 基站和 5G 基站 (gNodeB) 共存将是 5G 初始阶段不可避免的问题, 因此 eNodeB 也需要对基站数据面协议栈结构进行改进. 由于双协议栈模式并不影响原有 LTE 业务流程, 4G 核心网和用户无需做出额外更新. 在 MEC 场景下, 由于业务种类和需求量差异性较大, 冗余和低频应用会占据并不宽裕的物理层资源; 同时需要在新业务突发到来时, 能够实现业务的敏捷部署, 所以在 MEC 平台中, 所有的应用都需要打包成对库无依赖性的独立应用, 并以服务镜像的方式提供给容器调用. 此外, 服务镜像需要存储在 MEC 平台可高速获取的磁盘阵列服务器中, 降低获取镜像所带来的初始化时延.

2 基于 RAN 的高效流量调控设计

流量调控 (TS, traffic steering) 是分辨 MEC 业务和一般业务的关键环节, 然而由于 GTP 隧道协议的存在, 在核心网中通用协议处理流程无法区分 GTP 包中的应用数据类别, 而基于 GTP 解包的处理方式增加了处理复杂度和故障率, 因此需要研究 RAN 侧流量调控.

2.1 基站数据面协议栈优化

为了实现 MEC 业务流量的区分, 需要在数据流中添加特征信息作为流量调控的依据. 从 MEC 平台的分布式特点来看, MEC 各个功能单元可以被认为是独立的 AF. 而在 5G 服务化核心网中, 每一个功能实体可以通过 (IP 地址, 应用端口号) 的二元组来唯一定位, 所以网络层是实现用户流量分载的首要选择.

在移动通信网络中, 基站和核心网之间使用 GTP 协议封装用户面数据, 并将 GTP 数据包作为应用层数据, 重新加上 UDP 和 IP 报头, 在传输网中传输. 传输网不需要了解应用层的内容, 只负责将数据包可靠地交付到数据交换网络, GTP 在数据交换网络之前的网关 (P-GW 或 UPF) 解封装. MEC 应用在移动通信网络内部处理用户数据, 因此不仅需要

端到端传输, 还需要对内部数据进行处理, 更重要的是 MEC 网元在移动网内是可见的, 这使得 MEC 业务在传输中不必使用 GTP-U 协议.

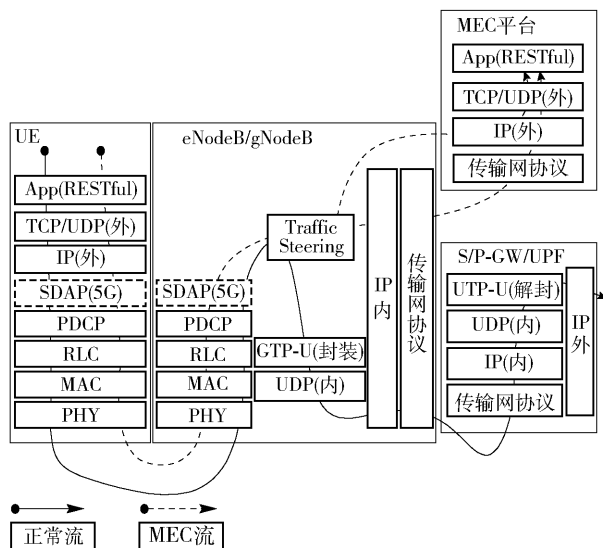


图2 联合部署架构协议处理流程

改进后的基站数据面协议栈主要由两个部分组成, 底层的接入协议被用来处理无线侧相关业务, 属于通用的无线通信处理协议, 只对 RAN 有效, 不影响后续的流量调度. 所有流量在 GTP 封装之前需要进行流量类型的判别, 如果是属于 MEC 业务, 则不需要进行 GTP 封装操作, 直接通过 IP 转发到指定的 MEC 参考点. 原数据包不需要再次添加 UDP 和 IP 的数据报头, 其处理流程和 QoS 指标按照标准的 TCP/IP 报文处理即可, MEC 平台可以像处理以太网流量一样处理传输网中的业务. 需要指出的是, MEC 平台可能位于基站和核心网两处, 当 MEC 业务直接由基站本身处理时, 将直接转发至基站的内部容器地址, 不再经过传输网.

2.2 流量调控功能设计

流量调控作为 MEC 处理的核心功能之一, 关系到系统的整体性能和稳定性. 基站是无线到有线传输的分水岭, 相当于是有线传输的起点, 在基站中实现流量调控, 避免了核心网中使用包检测和重定向功能. 流量的区分主要通过 IP 来识别, 所有的基于 MEC 的服务都使用限定的 IP. 为了实现 IP 的分流, 需要利用 Linux 的内核转发功能.

无线侧和有线侧帧的处理使用不同的协议栈, 数据包必然会进行 IP 层的处理. 在 GTP-U 协议处理数据面流量之前, 流量调控功能需要对目标 IP 进行以此检测. 如果目标 IP 地址属于 MEC 的地址

范围(包括本地容器地址),则中断 3GPP 规定的处理流程,并将该 IP 包交付给内核,而内核通过使用路由策略数据库(RPDB, routing policy database)包含的一些规则和多张路由表来选定合适的 IP 路由。

在联合 MEC 部署架构中,基站本身的 MEC 功能被作为容器打包运行在系统中,而 UPF 的 MEC 参考点也有特定的地址,因此可以通过配置内核路由表实现流量调度。同时非 MEC 流量则不会直接进入路由表,而是 GTP 封装后,再由内核路由表转发。表 1 展示了内核路由表在处理流量调度时的配置示例。其中,默认路由是经过 GTP 封装之后所使用的路由表项,通常指向 S-GW 或 UPF 网关。第二、三行是 AF 中的边缘计算平台,以主机路由的方式出现,代表了目前服务该基站的核心网侧 MEC 网元。需要指出的是,移动网络允许多个 MEC 网元同时服务一个基站,因此可以存在多个 MEC 平台的主机路由表项。最后一行表示的是基站本地 MEC 的路由表项,当业务归基站侧 MEC 应用处理时,流量会转发给本地的 docker 网桥,从而保障更低的时延,尤其适用于超低延时高可靠场景。

表 1 MEC 联合部署基站路由表

目标地址	网关	掩码	标志	接口
default	172.16.0.1	255.240.0.0	UG	eth0
10.121.46.4	172.16.0.1	255.255.255.255	UHG	eth0
10.121.44.7	172.16.0.1	255.255.255.255	UHG	eth0
192.168.0.0	*	255.255.240.0	U	docker0

3 基于 RESTful 与智能 DNS 的任务调度机制

在第 2 节中,基站通过匹配指定的 IP 地址来进行流量的分辨和调度。但是对于用户而言,并不知道每一个 MEC 网元的地址,用户只是通过统一的域名访问 RESTful 接口,因此需要智能 DNS 来实现同一域名到不同 IP 地址的映射。

3.1 基于 RESTful 的任务传输 API

对于 MEC 平台而言,服务以容器的形式存在于 MEC 网元中,IP 与端口号确定了目标 MEC 服务单元的位置。然而,对于同一个服务而言,需要不同的操作内容和用户相关的特定参数。因此,需要扩展基于 RESTful 的任务接口,其具体主要由 4 部分组成:
ACTION/serviceURI = <v1>/action = <v2>? userto-

ken = <v3>&<jsonEncodedParameters>

首先为了明确服务类型 serviceURI,需要匹配正确的服务名称,处理同一类型服务的容器拥有相同的服务名称,如果用户上传的业务类型与容器能够处理的业务类型不一致,将会造成无法找到 serviceURI 的错误。其次,需要显式的表达出操作的类型,一方面便于客户端开发,由于 MEC 的服务范围不仅包括正常智能终端业务,也包括 IoT 终端,然后受限于硬件成本,许多 IoT 设备缺乏完整的应用层协议支持;另一方面,因为基于 RESTful 的请求一般为无状态请求,在出现网络故障时,客户端发送一个请求后不能立即得到响应,由于不能确定请求是否被成功提交,所以客户端有可能会再次发送另一个相同的请求,幂等性决定了第 2 个请求是否有效。在 HTTP 协议中,只有 GET、HEAD、OPTIONS 和 PUT 方法是幂等的,因此出于一致性与安全性考虑,系统中应限定只使用这 4 种方法(目前设计中只使用了 GET 方法),而具体的增加、读取查询、更新和删除操作由 RESTful 接口中的 action 字符内容确定。此外,用户的身份信息应包含在请求的 URL 中,用以检测是否拥有操作的权限。

由于 MEC 业务类型差异大,需要有统一的参数传递方式,但是受限于 RESTful 的 URL 表述机制,需要采用额外的数据结构传输来自用户的多媒体数据。JS 对象简谱(JSON, JavaScript object notation)作为一种轻量级的数据交换格式,采用完全独立于编程语言的文本格式来存储和表示数据,被广泛地应用于数据交换。JSON 不仅可以用户传输文本数据,还可以用来传输图片,对象等复杂数据结构,同时因为其轻量级和对机器友好的特性,在 IoT 中也得到了大规模应用,因此在架构设计中,客户端需要将用户参数进行 JSON 编码再进行 base64 编码,从而增强 MEC 架构的兼容性。相对应地,服务端需要进行结构化的 JSON 解码,从而获取实际的用户参数。

3.2 DNS 解析目标选择的任务调度机制

智能 DNS 部署在 5G 数据面网关和数据交换网络的交汇处,作为内网 DNS 服务基于 RESTful 的 MEC 业务请求,此外,还通过将 RESTful 请求解析成不同的 IP 地址实现 MEC 业务的分配。通常,该智能 DNS 作为 P-GW 或者 UPF 的默认 DNS 网关。

智能 DNS 需要在配置项中需要预设一个 MEC 专用域名,当接收到专用域名的解析请求时,则将其

解析到 RAN 或者核心网侧对应的 MEC 平台地址. 为了保证目前 MEC 平台的可用性,所有可处理用户请求的 MEC 平台需要通过注册机制,向网络暴露功能(NEF, network exposure function)登记自身的服务和性能,并周期性地向 NEF 发送心跳包,维持在线的状态. 智能 DNS 通过获取 NEF 上登记的 MEC 平台状态,更新 IP 解析地址库.

与一般 DNS 的负载均衡机制不同的是,负责智能 DNS 的 AF 还需要通过 RESTful 接口周期性地向 MEC 负责联合编排和管理(CO&M, coalition orchestration and management)的 AF 发送资源监控请求,包括基站请求的流量、MEC 节点可用的物理资源、核心网的传输时延等. 根据收集来的网络上下文,智能 DNS 将会建立任务分载模型.

在本文架构中,使用 Dnsmasq 作为 DNS 服务器,通过配置其轮询机制实现任务分配. 但是 Dnsmasq 轮询只是将多个服务器 IP 映射到同一个主机名 URL,并没有更多的分配机制. 因此,将根据一定条件设置每一个 URL 的解析项数量,实现任务调度机制. 对于可用的 MEC 服务节点 k ,其占用的 DNS 解析条目数 ρ_k 如

$$\rho_k = N \left\lceil \frac{1}{D_k} R_k f_k p_k \eta_k \left(\sum_i \frac{1}{D_i} R_i f_i p_i \eta_i \right)^{-1} \right\rceil \quad (1)$$

其中: N 表示设置的解析项总条目数; D_k 表示客户端到节点 k 的平均时延,本文中使用时延作为基准,需要注意的是 D_k 对大传输量或大计算量业务的影响小,而对小数据量且小计算量业务有巨大影响; R_k 表示客户端到节点 k 的传输速率; f_k 和 p_k 分别表示节点的 CPU 频率和核数; η_k 表示目前 CPU 的使用率.

需要注意的是,通常情况下 DNS 在发现域名本地无法解析时会采用递归或者迭代的方式,希望从其他 DNS 服务器上获取域名的解析结果. 但是,MEC 应用只作用于移动网络内部,递归或者迭代并不会得到正确的结果,还会浪费大量的查询时间,所以需要将 MEC 的特定域名配置为仅在本地查询. 此外,由于 UE 在一次请求 DNS 后会将结果暂存在本机的 host 文件中,其后不再受到智能 DNS 任务分配机制的影响,且不同系统的 DNS 缓存时延差别很大,因此需要研究在一定流量下任务分配的平均情况. 除此之外,MEC 联合部署架构中,DNS 本地缓存统一地采用 30 s,这样可以根据网络负载状况,周期性地改变任务

分配策略.

4 测试实验与结果

4.1 测试实验参数设置

为了体现联合部署架构中网络的差异性,测试中使用 MEC 网元设备如表 2 所示. 其中,两台性能较差的服务器作为部署在基站侧的 MEC 网元,CPU 性能最好的阿里云主机作为核心网侧 MEC 单元,在容器资源分配时,实验中限制每个容器最多只可以使用一个 CPU,从而避免多核 CPU 对处理时延的影响. 在无线网络方面,采用基于 OpenAirInterface 的 4G FDD-LTE 软基站系统,无线射频模块为 USRP B210,只使用单天线,基带处理单元为 GIGABYTE BS17HT,50PRB,接入网位于本地机房,核心网 3 个主要组件归属签约用户服务器、移动性管理实体与服务/公用数据网网关部署在阿里云上. 在实际系统中,接入网侧 MEC 网元传输速率大于核心网侧,但是由于无线接入系统的限制,其上行吞吐量最大可达 8 Mbit/s,因此,在实验中使用 wondershaper 限制核心网侧 MEC 的带宽为 5 Mbit/s. 经过 Ping 程序的实验可得客户端与边缘、核心网侧 MEC 服务单元的平均往返时延为 20.1 ms 和 79.4 ms,由此亦可以发现现有的 4G 网络中,数据面空口往返时延是整体时延的重要组成部分. 需要指出的是,测试中使用的传输量和计算量较大,因此在实现任务分配机制时并未考虑往返时延的参数.

表 2 MEC 联合部署服务节点参数

网元类型	硬件类型	CPU 频率/ MHz	内存/ GB	系统	速率/ (Mbit·s ⁻¹)
无线侧	Raspberry 3B (armv7l)	1 200	1	Raspbian	5
无线侧	Inspur NF5170M4 (x86)	1 700	16	Ubuntu 16.04	5
核心网侧	Ali cloud (x86)	2 500	4	Ubuntu 16.04	3

为了衡量不同传输量和计算量的业务对 MEC 架构性能的影响,实验中拟采用 3 种类型业务进行测试,其业务性质如表 3 所示.

4.2 实验结果

实验从 3 个方面来阐释联合部署架构对 MEC 业务的影响.

表 3 MEC 业务属性

序号	描述	单请求传输量/ Byte	计算量
A	暴力破解 6 位 MD5 加密	650 ~ 700	大
B	数据块解压缩	756 K	小
C	图片加噪声模糊化	216 K	大

图 3 描述了在 3 种部署场景下,不同请求数量对任务完成时间的影响. 从实验中,对于低数据量、高计算量的业务 A,接入网边缘计算部署方案的时延反而比核心网侧方案高至少 30%. 这与边缘计算最开始的理想完全相悖,这是由于核心网侧的节点计算能力大于边缘侧计算能力,所以在核心网侧边缘计算节点所需的额外传输时延可以通过降低计算时延来弥补. 而对于传输量大,计算量小的业务 B,边缘计算节点能够充分利用瓶颈链路少的特点,大大提升任务完成率. 联合部署方案通过平衡数据传输和任务处理所需的时延,能够根据业务特性选择合适 MEC 节点,因此在高数据量、高计算量的业务中,联合部署方案的整体时延可以减少 40%. 需要注意的是,在请求数量大于 15 时,传输时延的增长速度迅速上升,这是由于 MEC 节点链接数量受限,多余的请求会被拒绝,需要等到一部分请求传输完成后才能重新建立连接. 而联合部署方案,将请求分散到接入网和核心网两侧 MEC 节点,一定程度上降低了请求被拒绝的概率.

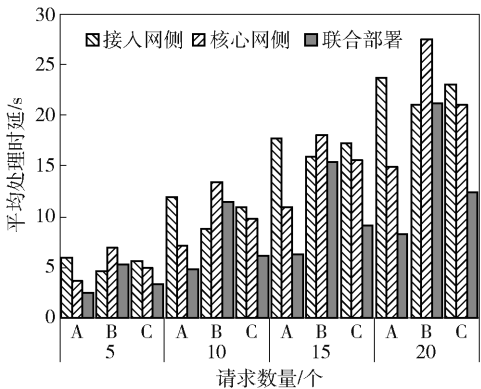


图 3 在不同部署方案下用户请求数量对时延的影响

图 4 主要说明了不同任务分配机制对架构性能的影响. 基于 RESTful 与智能 DNS 的任务调度机制考虑了吞吐量和计算能力对任务完成速率的影响. 相对于轮询机制,本架构中的分配机制避免了将业务分配给与其业务特性不符合的 MEC 节点,例如对于 A 类型业务,轮询机制会将任务等概率的下发给树莓派节点,这大大拖延了任务完成时间. 而对于

本架构提出的任务分配机制,在计算量较高的场景下能够降低大约 10% 的时间,但是对于计算量很低的业务类型,并不会比轮询的效果好.

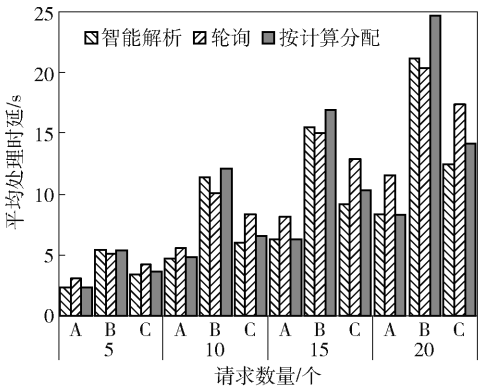


图 4 不同任务分配机制对时延的影响

图 5 中一组数据分别为接入网 MEC 节点拥有镜像、接入网 MEC 节点从局域网镜像库下载镜像、接入网 MEC 节点从云端镜像库下载镜像、核心网 MEC 节点从云端镜像库下载镜像、核心网 MEC 节点拥有镜像这 5 个场景下,完成业务 A 所需要的平均时延. 图 5 表明,任务首次在节点上运行时,还有一个重要的参数需要考虑,即镜像问题. 每一个容器都是有镜像从本地生成的,如果节点缺乏所需的镜像,必须先下载该业务的镜像. 镜像的大小和镜像库位置对初次执行的任务具有决定性影响,可以占到任务整体完成时间的 85% 以上.

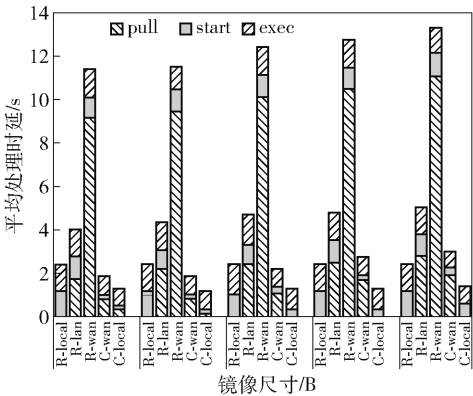


图 5 镜像尺寸与位置对时延的影响

5 结束语

MEC 在 5G 系统中部署受到基站、核心网物理资源以及实时流量参数的限制,同时如何实现 MEC 和一般流量的分辨与调度以及任务的实时分配都是 (下转第 97 页)

- 3gpp.org/ftp/TSG_RAN/WG1_RL1/TSGR1_AH/NR_AH_1709/Docs/R1-1716868.zip.
- [11] 3GPP TSG RAN WG1. Chairman's notes of agenda item 7.4 channel coding (Meeting #90bis) [EB/OL]. Prague: 3GPP, 2017 [2018-07-01]. http://www.3gpp.org/ftp/TSG_RAN/WG1_RL1/TSGR1_90b/Docs/R1-1719116.zip.
- [12] Zhu M, Bai B M, Dou J F, et al. Kite code-based incremental redundancy hybrid ARQ scheme for fast-fading channels [J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59 (35): 5029-5041.
- [13] Samsung, 3GPP TSG RAN WG1. RV order for special case [EB/OL]. Prague: 3GPP, 2017 [2018-07-01]. http://www.3gpp.org/ftp/TSG_RAN/WG1_RL1/TSGR1_90b/Docs/R1-1717681.zip
-

(上接第 91 页)

系统实现的实际问题。笔者提出的 MEC 联合部署架构可以充分利用网络中的设备资源,以智能 DNS 和 RESTful 接口实现基于服务的架构,从而满足 5G 场景下苛刻的性能指标和拓展性要求。通过实验测试表明,联合部署架构能够在同样的资源配置下,能够根据业务特性分配合理的 MEC 节点,一定程度上减少用户请求的响应时间。

参考文献:

- [1] Hu Y C, Patel M, Sabella D, et al. Mobile edge computing-a key technology towards 5G[EB/OL]. Sophia Antipolis: ETSI, 2015 [2018-08-08]. https://www.etsi.org/images/files/ETSIWhitePapers/etsi_wp11_mec_a_key_technology_towards_5g.pdf.
- [2] 3GPP. 3GPP TS 23. 501—2018, System architecture for the 5g system (Release 15)[S]. Sophia Antipolis: 3rd Generation Partnership Project, 2018: 127.
- [3] Markakis E K, Karras K, Sideris A, et al. Computing, caching, and communication at the edge: the cornerstone for building a versatile 5G ecosystem[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(11): 152-157.
- [4] Satyanarayanan M, Bahl V, Caceres R, et al. The case for vm-based cloudlets in mobile computing[J]. IEEE Pervasive Computing, 2009, 8(4): 14-23.
- [5] Lertsinsrubtavee A, Ali A, Molina-Jimenez C, et al. Pi-Casso: a lightweight edge computing platform[C]//2017 IEEE 6th International Conference on Cloud Networking (CloudNet). Prague: IEEE Press, 2017: 1-7.
- [6] Huang A, Nikaein N, Stenbock T, et al. Low latency MEC framework for SDN-based LTE/LTE-A networks[C]//2017 IEEE International Conference on Communications (ICC). Paris: IEEE Press, 2017: 1-6.
- [7] Lee S Q, Kim J. Local breakout of mobile access network traffic by mobile edge computing[C]//2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). Jeju: IEEE Press, 2016: 741-743.
- [8] Fielding, Thomas R. Architectural styles and the design of network-based software architectures [D]. Irvine: University of California, 2000.