



ادغام محاسبات لبه ای با دسترسی چندگانه (MEC) در هسته باز 5G

di

di

ریاضیات فنی و صنعتی

81

روبن خاویر ۱،۲، روجریو اس. سب
و آنتونیو اولیویرا-جونیور ۱،۵.*

موسسه‌افنورماتیک (INF)، دانشگاه فدرال گویاس (UFG)، گویانا 74690-900، بربازیل؛
 rogerio.sousa@ifg.edu.br (RSS)؛ rubenfx@cpqd.com.br (RX)
 (موسسه فدرال آموزش، علم و فناوری گویاس، Inhumas 75402-556، بربازیل؛ leandro.freitas@ifg.edu.br
 e Desenvolvimento em Telecomunicações) CPQD (Campinas 13086-902، Inhumas پردبیس بربازیل؛ Centro de Pesquisa
 موسسه‌مهندسی، فناوری و علوم سیستم‌ها و کامپیوترا (INESC-TEC)، پورتو، پرتغال، کد پستی ۳۲۰-۴۶۵؛
 maria.r.ribeiro@inesctec.pt
 Fraunhofer Portugal AICOS، 4200-135 ببورتو، پرتغال؛ waldir.junior@fraunhofer.pt
 مکاتبات: antoniojr@ufg.br

چکیده: محاسبات لبه ای با دسترسی چندگانه (MEC) مفهوم اصلی است که امکان ایجاد برنامه ها و سرویس های جدیدی را فراهم می کند که مزایای محاسبات لبه ای را برای شبکه ها و کاربران به ارمغان می آورد. با پیاده سازی برنامه ها و سرویس هادر لبه، نزدیک به کاربران و دستگاه های آنها، می توان از تأخیر بسیار کم، بهنای باند قابل توجه و استفاده بهینه زمانیاب بهره مند شد. با این حال، فعل اکشن این رویکرد نیازمند ادغام دقیق بین چارچوب MEC و هسته باز 5G است. یعنی کار به طراحی سرویس جدیدی اختصاص داده شده است که عملکرد API هدایت ترافیک با دسترسی چندگانه (MTS) را گسترش می دهد و به عنوان یک پل استراتژیک بین قلمروهای MEC و هسته 5G عمل می کند. برای دستیابی به این هدف، ما از free5GC (پروژه متن باز برای هسته 5G) به عنوان هسته 5G خود که در خوشе Kubernetes مستقر شده است، استفاده می کنیم. سرویس پیشنهادی با استفاده از این چارچوب، شامل سناپریوهایی با تراکم بالای کاربر، عبارتنجی شود. برای نتیجه گیری در مورد اینکه آیا راه حل موردنظر معتبر است یا خیر، از KPI های برنامه های 5G MEC که در جامعه علمی شرح داده شده اند، به عنوان یک پارامتر مقایسه استفاده شد. نتایج نشان می دهد که این سرویس به طور موثر به مسائیل شرح داده شده می پردازد و در عین حال امکان سنجی خود را در موارد استفاده مختلف مانند سلامت الکترونیک، بیشتبانی امدادگران، خانه هوشمند و مزارع هوشمند نشان می دهد.



استناد: خاوری، ر.; سیلوا، آر. اس.; ربیبو، م.;
موریدا، دبلیو.; فریتاس، ل.; اولوبورا-جوئنور.
آ.دادام محاسبات لیه ای با سدسترس چندگانه
(MEC) در هسته باز ۵G. مخابرات ۵۲-۳۴ / 10.3390/telecom5020022
<https://doi.org/10.3390/telecom5020022>

العدد ١

نسل پنجم شبکه ها (5G) به عنوان پلتفرم اصلی برای کاربردهای بی سیم آینده در نظر گرفته می شود که هدف آن ارایه حداکثر نرخ داده تا 20 گیگابیت بر ثانیه، میانگین نرخ بیش از 100 مگابیت بر ثانیه و اتصال تعداد زیادی دستگاه اینترنت اشیا (IoT) در واحد سطح است. علاوه بر این، کاهش مصرف باتری دستگاه، کاهش مصرف انرژی و امکان اتصال تعداد سیار زیادی دستگاه نیز بخشی از اهداف هستند [۲].

دریافت: ۲۶ آوریل ۱۹۴۰
اصلاح شده: ۲۸ مه ۱۹۴۰
پذیرفته شده: ۳۰ مه ۱۹۴۰
 منتشر شده: ۱۷ مه ۱۹۴۰

درآینده، شبکه های G6 به پیشرفت خود ادامه خواهند داد تا بتوانند تقاضاهای رو به رشد نرخ داده، افزایش تعداد برش های نمونه سازی شده، تراکم دستگاه ها و حسگرهای متصل را مدیریت کنند.^[۳]. این امر مستلزم آن است که G6 در مقیاس بسیار بزرگ و به شیوه ای فوق متصل و خودمختار عمل کند، به دنبال ادغام دنیای دیجیتال واقعی در تمام ابعاد و به طور فراگیر باشد، شبکه های فضایی و زمینی را به شدت ادغام کند و همجنین از فناوری های مکان یابی، حسگری، هوش مصنوعی، به طور گسترده استفاده کند.^[۴].

مطالعات اخیر در شبکه های MEC، 6G را به عنوان یک عامل ضروری برای ادغام در 6G جهت برآورده کردن لامات حنین، لبه ها، شکه متراکم، برجسته ها، کند.^{۵۴-۵۳} به عنوان مثاباً، MEC می تواند تضمین کند

حق نشر: © ۲۰۲۴ توسط نویسنده‌گان، دارنده مجوز MDPI، بازل، سوئیس.
این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است تیکل کت تحت شرایط مجوز ۴.۰ /[licenses/b/4.0/](http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) و آن‌ها BY: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> ها: Creative Comm Attribution (CC BY) ای: توزیعشده است.

تأخيراتصال فوق العاده کم و پخش بی نقص ویدیوهای 4k/8k را با پردازش داده های محاسباتی فشرده یا ذخیره سازی ویدیوهای با کیفیت فوق العاده بالا (UHD) در لبه [۱] برآورده می کند.^[۳]
شبکه تلفن همراه 5G که توسط پروژه مشارکت نسل سوم (3GPP) استاندارد شده است، نسخه های مختلفی دارد که جنبه های شبکه را تعریف می کنند. یکی از این جنبه ها، معماری جدیدی است که جدای بین صفحه داده (DP) و صفحه کنترل (CP) را معرفی می کند که SBA نامیده می شود [۴] علاوه بر این، نسل جدیدی از خدمات برای 5G ارائه شده است، از جمله (i) eMBB: به حداکثر رساندن نرخ انتقال داده؛ (ii) URLLC: به حداقل رساندن تأخیر و تضمین قابلیت اطمینان بالا؛ (iii) mMTC: پشتیبانی از تعداد زیادی دستگاه در همان منطقه.^[۸,۹]

ظهور شبکه های 5G امکانات مختلفی را برای بیاده سازی برنامه ها و خدمات جدید، مانند واقعیت مجازی، واقعیت افزوده، وسائل نقلیه خودران و اینترنت اشیا، فراهم کرده است. این برنامه ها به منابع شبکه قابل توجهی نیاز دارند و شبکه را ملزم به پشتیبانی از حجم فزاینده داده ها می کنند. ویژگی هایی مانند تأخیر بسیار کم، بهنای باند وسیع و مصرف منابع کارآمد باید توسط یک شبکه 5G ارائه شود^[۹] یک رویکرد مؤثر، استقرار این برنامه ها در لبه شبکه، نزدیک تر کردن آنها به کاربران و بهره گیری از محاسبات لبه و کاهش زمان انتقال فیزیکی است. اینجاست که محاسبات لبه با دسترسی چندگانه (MEC) بسیار مهم می شود.^[۱]

محاسبات لبه ای به عنوان یک تکامل امیدوارکننده در محاسبات ابری ظهرور کرده است و مزایایی مانند مقیاس پذیری بهبود یافته، به ویژه برای حجم زیادی از داده ها، و تأخیرهای کمتر را ارائه می دهد که امکان خدمات حیاتی بلادرنگ مانند سنجش از دور و فعل سازی یا بازی های توزیع شده را فراهم می کند، و همچنین حریم خصوصی و اطلاعات زمینه ای را حفظ می کند.^[۱] استاندارد شده است، خدمات را در لبه شبکه به منبع داده نزدیک تر می کند^[۱۰] ETSI ISG MEC که توسط^[۱۱] این استاندارد شامل یک چارچوب و معماری جامع است.^[۱۲] علاوه بر این، مجموعه ای از API های MEC وجود دارد که مطابق با اصول کلی طراحی RESTful API^[۱۳] طراحی شده اند.^[۱۴]

قابل دسترسی است، عمدتاً از طریق شبکه های تلفن همراه، مانند 4G LTE-Advanced^[۱۵] و MEC^[۱۶] شبکه رو به رشد 5G^[۱۷] اگرچه از نظر حالت دسترسی خنثی است^[۱۸] [۱۹] بسیار مهم هستند URLLC طراحی شده است، به ویژه در پرداختن به الزاماتی مانند تأخیر بسیار کم که برای^[۲۰] به جای اینکه یک راهکار مستقل باشد، برای تکمیل 5G^[۲۱] در این زمینه، ادغام بین شبکه های 5G و چارچوب های MEC ضروری می شود و می تواند از طریق سرویس های MEC^[۲۲] مطابق با معماری مرجع ETSI^[۲۳] بیاده سازی شود.

علاوه بر این، اپراتورها می توانند از امکانات موجود در لبه شبکه های تلفن همراه استفاده کنند و RAN را برای اشخاص ثالث باز کنند و امکان استقرار انعطاف پذیر خدمات نوآورانه را برای مشترکین و مشاغل تلفن همراه فراهم کنند.^[۲۴] هنگام بیاده سازی MEC در شبکه های تلفن همراه، میزبان ها در لبه شبکه (نزدیک شبکه دسترسی رادیویی 4G یا 5G) قرار می گیرند، از برنامه های MEC پشتیبانی می کنند و از API هایی مانند اطلاعات شبکه رادیویی (RNI) و API های مکان استفاده می کنند. سایر API ها با پیروی از اصول طراحی RESTful در معرض دید قرار می گیرند و قابلیت همکاری و قابلیت حمل برنامه های MEC را در دامنه های مختلف تضمین می کنند.^[۲۵]

این کار بر اساس مزایای استفاده از MEC در شبکه است. این مزایا، به ویژه کاهش قابل توجه انتقال محتوای تکراری در لینک های backhaul، کیفیت خدمات (QoS) را افزایش می دهد و منجر به کاهش تأخیر وبار محاسباتی می شود^[۲۶] [۲۷] استفاده از شبکه های داده تلفن همراه شاهد یک موج جهانی است. به عنوان مثال، در برزیل، طبق گزارش آژانس ملی مخابرات (ANATEL)، افزایش دسترسی به بهنای باند تلفن همراه وجود داشته است و تنها در عرض یک ماه از 211.8 میلیون به 213.7 میلیون افزایش یافته است.^[۲۸] پیش بینی می شود که تا سال ۲۰۲۶، ۵G درصد از ترافیک داده های تلفن همراه از طریق شبکه های 5G تسهیل شود و این امر اپراتورها را بر آن می دارد تا برای پاسخگویی به این تقاضای روا به رشد، چه برای کاربران و چه برای زیرساخت ها، به دنبال پیشرفت هایی باشند.^[۲۹] بر این اساس، ادغام شبکه های 5G و چارچوب های MEC هم برای جامعه دانشگاهی و هم برای توسعه فناوری های گذید، مانند وسائل نقلیه خودران، برنامه های کاربردی برای شهرهای هوشمند، مراقبت های بهداشتی و بازار واقعیت افزوده / مجازی و همچنین برای کل بازار مفید است. آمازون در تحقیقات خود دریافت که هر 100 میلی ثانیه تأخیر در وب سایت هایی که از فروش آن را به همراه دارد، در حالی که گوگل نتیجه گرفت که 0.5 ثانیه اضافی در زمان بارگذاری صفحه جستجو منجر به کاهش 20 درصدی ترافیک کاربران می شود^[۳۰] پیش بینی می شود که موارد استفاده خاصی در شبکه های 5G برای تأمین، به مفاهیم و چارچوب های MEC وابسته شوند.

از خدمات به کاربران نهایی [۲۳]. مثال ها شامل وسایل نقلیه خودران، شهرهای هوشمند، مراقبت های بهداشتی و اینترنت اشیا (IoT) می شوند که همگی حساسیت به تأخیر را نشان می دهند و می توانند از اتخاذ اصول MEC در استقرار خود، دستاوردهای قابل توجهی کسب کنند. به عنوان مثال، این موارد در حوزه خدمات ارتباطات با تأخیر بسیار کم و قابل اعتماد (URLLC) آشکار می شوند [۲۴].

برای دستیابی به اهداف این کار، ما با بررسی ویژگی های MEC و فناوری 5G شروع کردیم. ما اجزای نرم افزاری را در معماری آنها تجزیه و تحلیل کردیم و اهداف و ویژگی های آنها را درک کردیم. هسته شبکه انتخاب شده به دلیل کد منبع باز، انطباق با استانداردهای 3GPP و جامعه فعال، free5GC (پروژه متن باز GPP برای هسته 5G) بود. این انتخاب با استفاده از my5G-core (یک هسته مستقل 5G که از استانداردهای 3GPP می پیروی می کند) تقویت شد [۱]. [۲۵] که انشعابی از free5GC است. تحقیقاتی برای شناسایی پلتفرم های MEC که اهداف این مطالعه را برآورده می کنند، انجام شد. با این حال، فقدان مستندات و پشتیبانی منجر به شبیه سازی یک پلتفرم MEC با استفاده از یک خوشه Kubernetes شد. سرویس پیشنهادی بر اساس استانداردها و پایبندی به اهداف API هدایت ترافیک چند دسترسی (MTS) توسعه داده شد. علاوه بر این، یک رجیستری سرویس (SR) برای ایجاد محیط اعتبارسنجی، همراه با یک برنامه آزمایش ایجاد شد.

اعتبارسنجی به سه بخش تقسیم شد. ابتدا، عملکرد انفرادی free5GC، خوشه Kubernetes و برنامه ها / سرویس های پیاده سازی شده اعتبارسنجی شدند. متعاقباً، ثبت برنامه ها / سرویس ها در SR اعتبارسنجی شد. در نهایت، بخش سوم و آخر شامل اعتبارسنجی سرویس پیشنهادی و جمع آوری و ارزیابی نتایج بود. جزئیات بیشتر در مورد محیط ارزیابی و تمام کد منبع به صورت عمومی در مخزن GitHub () در دسترس است. (دسترسی در ۲۵ آوریل ۲۰۲۴). <https://github.com/LABORA-INF-UFG/5g-mecintegration>.

مشارکت های این اثر به شرح زیر است:

- ادغام بین MEC و 5GC: این مطالعه امکان سنجی ادغام 5G و MEC را از طریق یک API ارتباطی نشان می دهد.
- پیاده سازی سرویس یکپارچه سازی: یکی از رویکردها برای تحقق یکپارچه سازی بین MEC و فناوری 5G، پیاده سازی یک سرویس خاص است. این سرویس می تواند با استفاده از یک API ارتباطی اختصاصی ارائه شود.
- گسترش API MTS: API اصلی MTS برای هدایت ترافیک برنامه ها به 5GC طراحی نشده بود. بنابراین، برای فعال کردن انتقال ترافیک بین MEC و شبکه 5G، لازم است این API با ایجاد یک سرویس خاص جدید ارتقا یابد.
- اعتبارسنجی API در یک محیط آزمایش: API پیشنهادی در یک محیط آزمایشی با استفاده از یک چارچوب MEC شبیه سازی شده و یک 5GC اعتبارسنجی شد.

این مقاله به شرح زیر ساختار یافته است: بخش ۲ مفاهیم اساسی لازم برای درک این اثر را ارائه می دهد. بخش ۳ مروری بر ادبیات مربوط به این کار ارائه می دهد. بخش ۴ طرح پیشنهادی این کار، شامل معماری، جزئیات پیاده سازی و عملکرد آن را شرح می دهد. بخش ۵ موارد استفاده برای اهداف مقایسه، محیط بسته آزمایش، معیارهای ارزیابی و نتایج جمع آوری شده را ارائه می دهد و پیامدهای آنها را موردنبحث قرار می دهد. بخش ۶ مقاله را به پایان می رساند.

۵.۲. سیستم 5G

سیستم موسوم به (5G) 5GS (5G) شامل شبکه اصلی (5GC)، یک رابط رادیویی جدید به نام New Radio و تجهیزات کاربری (UE) است که به طور خاص برای 5G طراحی شده اند. [۱۷، ۲۶] سیستم های نسل پنجم در حال توسعه هستند تا ارتباط بین UE و زیرساخت شبکه 5G برقرار شود. [۱۷]

در نسخه ۱۶، پروژه مشارکت نسل سوم (3GPP) بر گسترش جامع 5GS تمرکز داشت. این گسترش شامل دسترسی 5G مبتنی بر ماهواره، خدمات ارتباطی خودرو به همه چیز (V2X)، ادغام شبکه های بی سیم و سیمی با 5G و سایر پیشرفت ها می شود. [۲۷] علاوه بر این، قابلیت هایی مانند استفاده از فناوری NR در فرکانس های بدون مجوز، رویکردهای دسترسی یکپارچه به بک هال (IAB)، بهودهای چند رودی-چند خروجی (MIMO) در مقیاس بزرگ، تخصیص منابع بخش بندی شده و قابلیت های جدید برای URLLC و اینترنت اشیا صنعتی و همچنین پشتیبانی از شبکه خصوصی (NPN) نیز ارائه شده است.

پیاده سازی ها، گنجانده شده اند [۱۲] این ویژگی ها برای اطمینان از برآورده شدن الزامات اساسی شبکه ها بسیار مهم تلقی می شوند.

۱.۳.۱. ۵G اهسته

شبکه 5G دارای یک معماری نوآورانه به نام SBA است که حول محور سرویس ها و ریزسروریس ها می چرخد. [۱]. در این مدل، 5GC ویژگی هایی مانند جداسازی بین DP و CP، مجازی سازی تابع و برش شبکه (NS) را معرفی می کند [۱].

[مجازیابی مانند بهبود بهره وری توسعه و نگهداری، ارتباط میکروسرویس ها با منابع اختصاصی و چرخه های حیات مستقل و افزایش مقیاس پذیری از طریق نمونه های درخواستی را ارائه می دهد] این ساختار شامل توابع شبکه (NF) است که از طریق رابط مبتنی بر سرویس (SBI) خدمات ارائه می دهند و از طریق API ها و پروتکل هایی مانند HTTP و سایر موارد قابل دسترسی هستند. [۱].

[مجازی سازی و محاسبات لبه پشتیبانی می کند، NS است که به طور بومی از SBA که بر اساس مفاهیم محاسبات ابری ساخته شده است، دارای یک هسته سرویس گرا با معماری GS است. 5G بخش 5G جدایی ناپذیر 5G (NR) در کنار رابط رادیویی New Radio (NR) معماري 5G به دو حالت تقسیم می شود: غیرمستقل (NSA)، که در آن رابط رادیویی جدید در ارتباط با زیرساخت اصلی موجود (Packet Core—EPC) استفاده می شود، و مستقل (SA)، که در آن رابط رادیویی به معماری اصلی تازه پیشنهاد شده برای 5G متصل می شود.

۱.۳.۲. توابع شبکه

[برای مجازی سازی عملکردهای شبکه، از جمله موارد مرتبط با انتقال، دسترسی و هسته، که به طور سنتی بر روی سخت افزار بسته اجرا می شوند، بهره می برد (SDN) و شبکه های تعریف شده توسط نرم افزار (NFV) از اصول مجازی سازی عملکرد شبکه 5G [۲۹]. نمونه ای از تعامل بین MEC و 5G در تابع شبکه (NF) به نام تابع صفحه کاربر (UPF) مشهود است. این تابع به عنوان یک نقطه مرکزی در صفحه کاربر 5G عمل می کند، UE را به شبکه داده (DN) متصل می کند و وظایفی مانند مسیریابی، بازرسی و مدیریت کیفیت خدمات (QoS) را انجام می دهد] .

تابع مدیریت جلسه (SMF) را مدیریت می کند و ارتباط بین UE و DN، از جمله تخصیص آدرس های IP و جلسات IP را پیکربندی می کند. [۱] تابع مدیریت دسترسی و تحرک (AMF) یک تابع شبکه است که با شبکه داده و UE تعامل دارد و ثبت، احراز هویت و تحرک در شبکه را از طریق سیگنالینگ امن تسهیل می کند. [۱].

تابع افشاری شبکه (NEF) شبکه 5G را رصد می کند تا رویدادها را در معرض برنامه های مجاز و سایر توابع شبکه (NF) قرار دهد و امکان مدیریت قوانین QoS، اولویت ها و اطلاعات مرتبط با UE را فراهم کند. [۱] این تابع با استفاده از مجازی سازی و انعطاف پذیری ارائه شده توسط معماری، برای تضمین عملکرد مؤثر 5G با یکدیگر همکاری می کنند.

برش شبکه (Network Slice) یک فناوری اصلی در زمینه 5G است که امکان ایجاد شبکه های منطقی را بر روی یک زیرساخت مشترک فراهم می کند. [۱] در اصل، بخش های شبکه با هدف برآورده کردن نیازهای خاص مشتری ایجاد می شوند و در نتیجه شبکه های منطقی اختصاصی ایجاد می شوند که در آنها منابع مورد نیاز پیکربندی و تخصیص داده می شوند. [۳۰].

۱.۳.۳. رابط های شبکه

رابطه های شبکه ذکر شده به ارتباطات بین مأذول های نرم افزاری مختلف در 5GC اشاره دارد. به طور کلی، هر یک از این ارتباطات از پروتکل ها و استانداردهای خاصی پیروی می کند. در زمینه اصلی، چهار رابط برجسته هستند - زمینه پوشش داده نمی شوند. [۱].

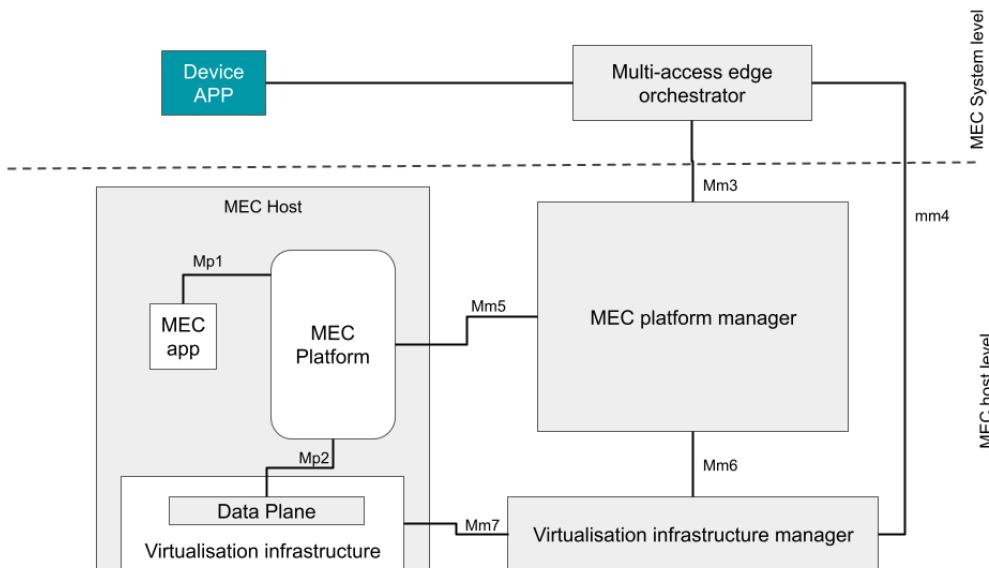
- **ن ۳**— رابط ارتباطی بین NR و UPF. این رابط داده های کپسوله شده برای مسیریابی را حمل می کند [۱].
- **ن ۴**— کنترل اعمال شده توسط SMF بر UPF از طریق این رابط انجام می شود و تمام ارتباطات آنها منحصر از طریق آن صورت می گیرد [۱].

- ان۶] امکان پذیر است (VPN) از طریق این رابط به شبکه های داده خارجی متصل می شود. داده ها در این مرحله دیگر تحت فرآیند کپسوله سازی قرار نمی گیرند، اگرچه پیاده سازی یک شبکه خصوصی مجازی UPF—[A].
- ان۹] در زیرساخت اصلی 5G، می توان UPFها را در یک پیکربندی متواالی مستقر کرد. این UPFها از طریق ... به هم متصل هستند. ۹ رابط شبکه، و سناریوهای مربوط به تحرك، نمونه هایی هستند که از این رویکرد استفاده می کنند [A].

۲.۴ معماری مرجع MEC

مشابه 5GC، MEC توسط موسسه استانداردهای مخابراتی اروپا (ETSI) استانداردسازی شده است که به استانداردسازی و گسترش مداوم MEC اختصاص دارد. اسناد فنی به طور منظم منتشر می شوند و همه چیزرا از معماری گرفته تا توسعه خدمات در چارچوب MEC پوشش می دهند.

معماری مرجع MEC به عنوان پایه و اساس ایجاد هر ساختار MEC عمل می کند. شکل ۱ معماری مرجع MEC را به شیوه ای ساده شده به تصویر می کشد و تنها اجزای ضروری برای هدف این مطالعه را نشان می دهد. این معماری در سند [۱۳] تعریف شده است. [۱۳] اجزای مرتبط مختلفی را می توان در تنظیمات معماري شناسایی کرد، مانند پلتفرم (MEC)، میزبان (MEP) و مدیر پلتفرم (MEPM).



شکل ۱. معماری مرجع MEC بر اساس [۱۳] خلاصه شده است.

میزبان MEC نقش جامعی در معماری MEC ایفا می کند و عناصر حیاتی مانند MEP، مدیر زیرساخت مجازی سازی (VIM) و برنامه های MEC (برنامه VIM) را در بر می گیرد. VIM منابع ذخیره سازی، پردازش و شبکه را برای برنامه های MEC فراهم می کند. همچنین جایی است که DP در آن قرار دارد [۱۳]. است DNS از جمله عملکردهایی مانند سرور، MEC همچنین میزبان سرویس های MEP را تسهیل می کند و آن را مطابق با قوانین ترافیکی دریافتی تنظیم می کند DP نقش محوری در مدیریت، به ویژه در مورد برنامه ها، ایفا می کند. این محیط، محیط مساعد برای برنامه ها جهت کاوش، ارائه و استفاده از خدمات ایجاد می کند. علاوه بر این، ارتباط با MEP [۱۳].

[۱۳] همچنین رسیدگی به نیازهای استانداردسازی و برنامه را بر عهده دارد MEP مدیریت اجزای MEO، می شود. علاوه بر این (MEO) (مسئولیت های مرتبط با مدیریت را بر عهده دارد. این شامل نظارت بر چرخه عمر برنامه ها و انتقال اطلاعات به هماهنگ کننده لبه، هماهنگ کننده لبه چند دسترسی MEP [۱۳] بر اساس الزامات، پیاده سازی، انتقال (در صورت وجود) و خاتمه دادن به برنامه ها است MEPM همچنین مسئول انتخاب میزبان های MEO. مستقر شده، سرویس های موجود، منابع و توبولوژی کلی را انجام می دهد MEC براساس میزبان های MEC به نوبه خود، وظایف مختلفی مانند حفظ دیدگاه جامع از سیستم، MEO [۱۳].

۳. کارهای مرتبط

تومازفسکی و همکاران (۲۰۲۰) [۳۱] معماری برای MEC و 5G مبتنی بر معماری مدیریت برش‌های خودمختار توزیع شده (DASMO) ارائه می‌دهد [۳۲] این پیشنهاد بر اساس یک الگوی تک دامنه ای است؛ با این حال، همانطور که در مقاله ذکر شده است، من توان آن را با اضافه کردن یک جزء نرم افزاری دیگر به یک سناریوی چند دامنه ای نیز تعمیم داد. با وجود پیشنهاد مفصل، هیچ بحثی در مورد اعتبارسنجی معماری ارائه شده وجود ندارد و این امر جای خالی در تحقیق باقی می‌گذارد.

کستنیین و فرنگو دیس یک معماری مدیریت و ارکستراسیون برای NS پیشنهاد می‌کنند [۳۳]. این معماری یک برش کامل شبکه را به بخش‌های کوچک تری تقسیم می‌کند که در آن‌ها می‌توان توابع شبکه مجازی (VNF) را مستقر کرد. آن‌ها دو مدل ارائه می‌دهند: درون برشی و چند مستأجری، که با نمونه سازی MEP از هم متمایز می‌شوند. در مدل درون برشی، MEP درون برش نمونه سازی می‌شود، در حالی که در مدل چند مستأجری، یک MEP مشترک در خارج از برش وجود دارد. MEP با شبکه 5G ارتباط برقرار می‌کند تا سیاست‌های هدایت ترافیک را از طریق ارتباط مستقیم با تابع کنترل بسته (PCF) شبکه اصلی یا از طریق تابع‌نوردهی شبکه (NEF) ایجاد کند. هدف این کار، فعال کردن معماری MEC برای پشتیبانی از NS است و با استفاده از OpenAirInterface (OAI) با تطبیق‌هایی با شبکه اصلی برای ارتباط با MEP از طریق Mp2 اعتبارسنجی شد.

کک و همکارانش یک معماری یکپارچه سازی بین 5G و معماری MEC پیشنهاد می‌دهند [۱۶] در این ساختار، هماهنگ کننده MEC می‌تواند مستقیماً با NEF و در برخی موارد، سایر توابع درون 5G تعامل داشته باشد. مرکز اصلی بر ادغام دو سیستم از طریق رابط N6 است که به تابع صفحه کاربر (UPF) متصل می‌شود. برای UPF، MEC، 5G توزیع شده و قابل پیکربندی در نظر گرفته می‌شود و در برخی از استقرارها، می‌تواند محلی و بخشی از معماری آن باشد.

مقاله کوکلینسکی و همکاران [۳۴] یک معماری نوآورانه ارائه می‌دهد که پلتفرم O-RAN، شبکه خودسازمانده (SON)، MEC و NS را ادغام می‌کند. این پیشنهاد بر اساس کنترلر هوشمند RAN تقریباً بلادرنگ (near-RT RIC) از پلتفرم O-RAN است، با اصلاحاتی برای یکپارچه سازی همه این فناوری‌ها در یک جزء واحد به نام RIC نزدیک به RT RIC یکپارچه (I-near-RT RIC). برنامه‌های MEC به عنوان xApps در پلتفرم O-RAN پیاده سازی می‌شوند. اگرچه این یک پیشنهاد مفهومی است، اما در یک بستر آزمایشی اعتبارسنجی نشده است.

میز مقایسه بین این اثر و آثار مرتبط بر اساس معیارهای تعریف شده را نشان می‌دهد:

- پیشنهاد ادغام 5G-MEC - پیشنهادی برای ادغام ارائه شده است.
- یکپارچه سازی از طریق سرویس - اینکه آیا یکپارچه سازی پیشنهادی به عنوان یک سرویس پیاده سازی می‌شود یا خیر.
- ادغام از طریق معماری جدید - چه پیشنهاد ادغام از طریق تغییرات در معماری موجود و چه ایجاد معماری‌های جدید انجام شود.
- اعتبارسنجی پیشنهاد - آیا پیشنهاد اعتبارسنجی شده است یا خیر.
- اعتبارسنجی با 5GC SA - آیا اعتبارسنجی با هسته شبکه 5G-SA وجود دارد؟

اولین جنبه مورد بررسی به موضوع اصلی این مطالعه می‌پردازد که در آثار ذکر شده در بالا نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. واضح است که برخی از این مقاولات فقط به ادغام MEC با 5G محدود نمی‌شوند، بلکه فناوری‌های دیگری مانند SON را نیز در نظر می‌گیرند [۱]. بنا بر این، تمام مقاولات مورد بحث در این تحلیل، پیشنهادهایی مربوط به ادغام 5G-MEC ارائه می‌دهند، اما رویکردهای آنها متفاوت است.

این مطالعات رویکردهای مختلف ادغام، از جمله پیشنهاد معماری‌های جدید برای این ادغام را ارزیابی کردند. این مطالعه به دلیل پیشنهاد یک سرویس به عنوان یک راه حل، برجسته است، در حالی که سایر کارها برای جاد معماری‌های جدید یا تطبیق معماری‌های موجود متمرکز بودند. به عنوان مثال، یک مطالعه از معماری DASMO به عنوان پایه استفاده کرد و مفاهیم کلیدی را دوباره استفاده کرد، در حالی که مطالعه دیگری معماری جدیدی را بر اساس دانش عمومی O-RAN توسعه داد [۳۱، ۳۲] به طور کلی، وجه مشترک همه کارها، ارتباط مستقیم MEP با CP هسته شبکه از طریق رابط MP2 است.

در نهایت، بررسی کردیم که آیا پیشنهادهای موجود در این مقاولات اعتبارسنجی شده اند یا خیر. دو نکته در نظر گرفته شده است: (۱) آیا پیشنهاد به هر نحوی اعتبارسنجی شده است و (۲) آیا پیشنهاد اعتبارسنجی شده‌ای هسته 5GC استفاده می‌کند یا خیر. از این نظر، تنها یک کار مرتبط انجام شده است

پیشنهاد خود را تأیید کرد، که این کار [۲۳]. در این مطالعه، اعتبارسنجی در یک محیط آزمایشی با استفاده از ماشین های مختلف به عنوان سرورهای لبه و یک هسته شبکه OAI انجام شد. با این حال، هنگام تجزیه و تحلیل این مطالعه، می توان عناصری از معماری هسته بسته تکامل یافته (EPC) هسته های شبکه، مانند نهاد مدیریت تحرک (MME) و سرور مشترک خانگی (HSS) را مشاهده کرد. بنابراین، این مطالعه علیرغم اعتبارسنجی، از یک هسته شبکه 5G مستقل (SA) استفاده نمی کند. اعتبارسنجی بر توانایی معماری پیشنهادی در ایجاد برش های شبکه برای MEC در زمینه 5G و تسهیل ارتباط بین دو فناوری متمرکز بود.

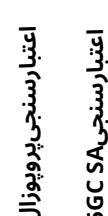
جدول ۱. مقایسه این پیشنهاد با کارهای مرتبط.

آثار

ایکس	ایکس	ایکس	[۱۶] در شبکه های 5G
ایکس	ایکس	ایکس	[۱۷] رویکردی جدید برای ادغام 5G و MEC
ایکس	ایکس	ایکس	[۱۸] به سوی محاسبات له ای چند دسترسیه با قابلیت برش در 5G
ایکس	ایکس	ایکس	[۱۹] در مورد ادغام SON، O-RAN، MEC، Network Slicing و MEC
ایکس	ایکس	ایکس	این مقاله

بنابراین، از تجزیه و تحلیل مطالعات انجام شده، مشخص است که پیشنهاد ما هم به دلیل رویکرد یکپارچه و هم به دلیل اعتبارسنجی آن، بر جسته است. ادغام پیشنهادی از طریق یک سرویس پیاده سازی شده و در یک محیط آزمایشی با استفاده از هسته شبکه 5G SA اعتبارسنجی خواهد شد. علاوه بر این، قابل توجه است که تنها یکی از مقالات با پیشنهادهای سطح معماري، اعتبارسنجی شده است، در حالی که بقیه در سطح نظری و مفهومی باقی مانده اند.

کک و همکارانش در مورد امکان استقرار به عنوان یک برنامه کاربردی که خدماتی ارایه می دهد، بحث می کنند [۲۰]. این احتمال می تواند با توجه به زمان راه اندازی و پتانسیل تبدیل سرویس به یک پلتفرم MEC همزمان با تثبیت فناوری و مدل های کسب و کار، یک مزیت تجاری محسوب شود. این امر، پیشنهاد ارایه شده را تقویت می کند و یک سناریوی دانشگاهی را رویکردی متفاوت از سایرین ارایه می دهد. تا آنچه که ما می دانیم، هیچ راه حل متن بازی در ادبیات برای مقایسه پیاده سازی وجود ندارد.



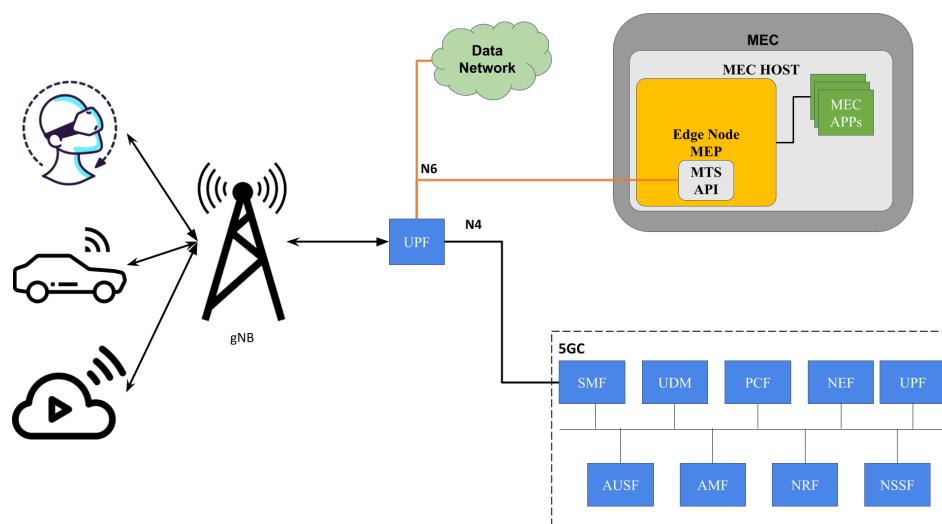
۴. یک سرویس جدید پیشنهادی

مزایای MEC و چگونگی تأثیر مثبت آنها بر شبکه های 5G قبل از ارایه شده است. با این حال، برای امکان پذیرکردن ترکیب این دو فناوری، لازم است مؤلفه ای توسعه یابد که امکان ارتباط را فراهم کند و از استانداردهای تعیین شده پیروی کند. یکی از احتمالات، یک سرویس ارتباطی است که از طریق یک برنامه با به عنوان بخشی از سرویس یک پلتفرم MEC پیاده سازی می شود و این ارتباط را با استفاده از یک برنامه مشخص می کند و روند راه اندازی و استقرار را سرعت می بخشد [۲۱]. امکان دیگر، استقرار سرویس به عنوان بخشی از پلتفرم MEC است. با این حال، ادغام کل ساختار سرویس در پلتفرم MEC امری بدیهی است. بنابراین، هدف این کار مشخص کردن یک API ارتباطی است که یک سرویس ارتباطی مستقر به عنوان یک برنامه را فراهم می کند.

این سرویس باید به برنامه های UE اجازه دهد تا با برنامه های سرور مربوطه که به صورت داخلی روی پلتفرم MEC ایزوله شده اند، تعامل داشته باشند. بنابراین، سرویس باید اطلاعات را دریافت کند.

درمورد مقصد و محتوایی که قرار است ارسال شود، اطلاعات کسب می‌کند و پس از تأیید وجود آن، آن را منتقل می‌کند. سپس سرویس باید منتظر پاسخ بماند و آن را به درخواست کننده بازگرداند. این جریان در هر دوچهت تکرار می‌شود. اطلاعات مربوط به مقصد باید در بدنه درخواست ارسال شود تا سرویس بنواند آن را پردازش کند و نحوه انجام این مسیریابی را درک کند. سطح امنیت با استفاده از توکن‌ها برای دسترسی به سرویس‌پیشنهادی پیاده سازی می‌شود. SR این توکن را تولید می‌کند. در ابتدا، این کار با هدف انتقال فایل‌های رسانه‌ای انجام نمی‌شود، که یکی از افزونه‌های احتمالی آینده است.

سرویس‌یکپارچه سازی، که به عنوان یک برنامه کاربردی مستقر شده است، روی MEC، به طور خاص روی مؤلفه MEP اجرا خواهد شد. MEP یک مؤلفه داخلی MEC HOST است که برنامه‌های کاربردی MEC را نیز به عنوان بخشی از دامنه خود دارد، بنابراین اینها اجزای MEC تحت پوشش این کار هستند. سرویس ارتباطی که توسط MEP اجرا می‌شود، ارتباط بین برنامه‌های کاربردی 5G و MEC را از طریق 3GPP فراهم می‌کند. ن. رابط ۶. سیگنالینگی که بین UE و 5GC انجام می‌شود، خارج از محدوده این کار است. این اجزا را من توان در معماری پیشنهادی نشان داده شده در شکل مشاهده کرد.^۲



شکل ۲. معماری کلی پروپوزال

شکل ۲ همچنین ساختار 5GC را نشان می‌دهد که SMF آن از طریق ... به UPF متصل است. ن. رابط ۴. من توان مشاهده کرد که هسته دارای دو UPF و تنها یک SMF است که توسط مدل معماری SBA امکان پذیرشده است. به منظور جلوگیری از انتقال سیاست‌های بالادستی N6 به UPF، که به طور مداوم شامل 5GS می‌شود، یک گره صفحه داده (D-Plane) با اتصال سست با یک یا چند UPF فرض می‌شود [۳]. تصویر، رابط رادیویی NB و نمایش برنامه‌هایی که با MEC ارتباط برقرار می‌کنند را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که این مطالعه، ارتباط داخلی هسته بین NFها و رابط رادیویی را در نظر نمی‌گیرد.

پیاده سازی این سرویس شامل دو عملکرد اصلی خواهد بود: پست راهه makeRequest و اولین مورد از این موارد است پست راهه تابع. وظیفه اصلی آن مسیریابی بسته‌ها خواهد بود، یعنی وقتی یک بسته می‌رسد، به اطلاعات موجود در بدنه آن نگاه می‌کند، مقصد آن اطلاعات و اینکه کدام روش HTTP استفاده خواهد شد را شناسایی می‌کند. مدل داده ای که برای این تابع مشخص شده است شامل دریافت آدرس IP سرویس‌مقصد، روش HTTP مورد استفاده و اطلاعاتی که باید ارسال شود، می‌باشد.

پس از دریافت اطلاعات فوق، این تابع فراخوانی می‌شود. این تابع وظیفه دارد داده‌ها را به مقصدنهای خود منتقل کند. با اطلاعات دریافتی قبلی، درخواست جدیدی ارسال می‌شود، اما این درخواست به مقصد نهایی آن اطلاعات ارسال می‌شود و منتظر پاسخ می‌ماند. پاسخ به ... ارسال می‌شود. پست راهه و آن را به UE منتقل می‌کند. علاوه بر این دو روش، این سرویس شامل یک روش سوم به نام میک رجیستری برای ثبت در SR. این تابع شامل تمام جزئیات سرویس، مانند IP، پورت و نقاط پایانی است. این اطلاعات برای ثبت به SR ارسال می‌شود و به برنامه‌های علاقه مند اجازه می‌دهد تا این جزئیات را بررسی و دریافت کنند.

برای اینکه کل این جریان با سطح امنیتی بالاتری کار کند، یک سرویس رجیستری به نام رجیستری سرویس‌پیاده سازی خواهد شد. این رجیستری بر روی برنامه‌ها و سرویس‌هایی در پلتفرم MEC تمرکز دارد که مایل به دسترسی داخلی یا خارجی از طریق API یکپارچه سازی هستند. برای این منظور، یک برنامه/سرویس باید IP، پورت و نقاط انتهایی خود را با روش‌های مربوطه ثبت کند. سپس برنامه‌های علاقه‌مند می‌توانند این اطلاعات را بررسی کنند. یک برنامه کلاینت در UE قادر خواهد بود بررسی کند که آیا سرویس مربوطه اش در دسترس است یا خیر و در صورت وجود، تمام اطلاعات برای ارتباط منتقل می‌شود.

در این کار، این سرویس به عنوان یک برنامه پیاده سازی خواهد شد. با این حال، این سرویس می‌تواند به دلخواه در پلتفرم MEC گنجانده شود. در این سناریو، سرویس از طریق MEP نیز قابل دسترسی خواهد بود و از طریق رابط N6 ارتباط بقرار می‌کند. این برنامه به عنوان یک API RESTful پیاده سازی خواهد شد. با پیاده سازی آن به عنوان یک برنامه، نیازی به هیچ ارتباطی با CP اصلی نیست. بنابراین، تمام ترافیک داده‌ها از طریق DP و UPF انجام می‌شود. ارتباطات از طریق درخواست‌های HTTP انجام می‌شود.

علاوه‌بر معماری مرجع MEC، اسناد فنی ETSI به دو رابط برنامه نویسی کاربردی (API) نیز می‌پردازند: هدایت ترافیک با دسترسی چندگانه (MTS) و مدیریت پهنای باند (BWM) [۱۳]. مسئول مدیریت ترافیک، مسیریابی آن، تقسیم آن و تکثیر آن در شبکه‌های دسترسی مختلف برای برآورده کردن نیازهای شبکه درخواستی برنامه‌ها است. MTS API است که تخصیص پهنای باند بین برنامه‌ها و همچنین اولویت بندی ترافیک خاص را مدیریت می‌کند. از سوی دیگر (API) (رابط برنامه نویسی کاربردی BWM) [۱۴] با توجه به اینکه اهداف سرویس مورد بحث در این کار و API مربوط به MTS تا حدی با هم سازگار هستند، پیشنهاد می‌شود که API مربوط به MTS گسترش یابد تا یک سرویس هدایت ترافیک برای شبکه داده خارج از MEC ارائه دهد.

۱.۴. پیاده سازی

پیاده سازی API پیشنهادی از زبان پایتون مرتبه چارچوب Flask استفاده کرد [۱۵] این میکروفیم و رکبه دلیل سادگی، کارایی و استحکامش به طور گسترده برای توسعه برنامه‌های وب استفاده می‌شود. فلاسک یک تابع را با یک نقطه پایانی مرتبط می‌کند که از طریق آن اطلاعات رد و بدل می‌شود.

تابع پیاده سازی شده به یک نقطه پایانی متصل هستند که به درخواست‌های HTTP پاسخ می‌دهد. تابع اصلی فقط درخواست‌ها را از طریق بسته متن. در نتیجه، درخواست‌هایی که از این متد استفاده نمی‌کنند، نادیده گرفته می‌شوند. پس از دریافت درخواست، API تابع () را فراخوانی می‌کند. پس از دریافت درخواست درخواست، API مقصود و روش HTTP مورد استفاده را جستجو می‌کند. محتوا پیام یک اعتبارسنجی ساده‌انجام می‌دهد تا در صورت وجود محتوا، به عنوان پارامتر در ... استفاده شود. اگر هریک از این اطلاعات وجود نداشته باشد، یک پیام خطأ با کد ۴۰۴ با پیام «سرویس IP و روش درخواست شده» ارسال می‌شود. تمام پیام‌ها برای داده‌های اولیه لازم برسی می‌شوند، بنابراین، اگر چندین پیام فاقد داده‌باشند، چندین کد خطأ برگردانده می‌شوند. هیچ اقدام خاصی لازم نیست زیرا در فرآیند ارتباط اختلالی ایجاد نمی‌کند.

برای اینکه اطلاعات به گیرنده اش منتقل شود، API فراخوانی می‌کند makeRequest روش. اولین برسی روی روش HTTP مورد استفاده خواهد بود. با استفاده از پست‌یافرار دادن نشان دهنده تبادل پیام است، بنابراین داده‌ها باید به متد ارسال شوند. در مورد بقیه، هیچ اطلاعاتی به جز اطلاعات اجباری ذکر شده در بالا مورد نیاز نیست. پس از اجرای درخواست، پیام پاسخ به صورت معمکوس ارسال می‌شود، یعنی به ... می‌رسد. makeRequest، بازگردانده می‌شود به پست داده و در نهایت به مشتری، یعنی مقصد نهایی خود، می‌رسد.

لازم به ذکر است که برای این کار، سایر متدی‌های MTS API در نظر گرفته نشده‌اند. دلیل این امر این است که این متدها برای هدف پیشنهادی ضروری نیستند. متدها و نقاط پایانی مربوطه که در این API پیاده سازی شده‌اند، محافظت می‌شوند، بنابراین، برای اینکه هر برنامه/سرویس بتواند از آنها استفاده کند، بایدیک توکن JWT داشته باشد.

ماحداقل موارد لازم برای برآورده کردن الزامات توسط رجیستری سرویس را پیاده سازی کرده‌ایم. چند عملکرد پیاده سازی شده‌اند. اولین مورد، مدیریت داده‌هایی رجیستری تابعی که اطلاعات را از برنامه‌ها و سرویس‌هایی که مایل به ثبت نام هستند دریافت می‌کند. پس از تأیید حداقل محتوا برای ثبت نام، دسته پست‌تابع است

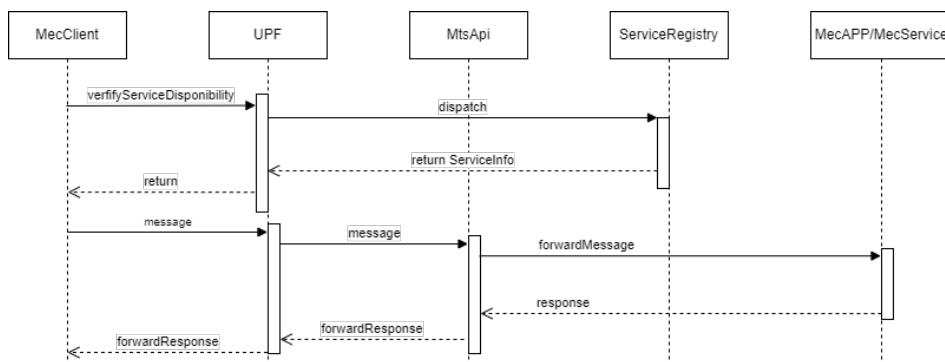
فراخوانی می شود که اطلاعات را در پایگاه داده ذخیره می کند. در نهایت، یک توکن برای این برنامه/سرویس با استفاده از کتابخانه JWT ایجاد می شود. برنامه دستگاه موظف است توکن دسترسی را با هر درخواست ارائه دهد تا بتواند مجوز خود را برای دسترسی به منبع با استفاده از روش خاص فراخوانی شده اعمال کند [۳۶].

آسان ترکردن تغییر داده ها در پایگاه داده و بازبایی اطلاعات طراحی شده است. متدهای PUT و DELETE به کلاینت اجازه می دهند رکوردها را تغییر دهد. با متدهای GET، کلاینت می تواند داده های ذخیره شده در پایگاه داده را درخواست کند. در این سناریو، UE از طریق متدهای GET اطلاعات را درخواست می کند. جمع آوری اطلاعات از همان روش پیروی می کند که قبلاً یک توکن در اختیار کاربر قرار داده است. این توکن برای استفاده از سرویس یکپارچه مورد نیاز است. دسته بندی حذف دسته، و هندل گت توابع مشابه توابع ذکر شده در بالا هستند.

۳.۳.۴ رابط برنامه نویسی کاربردی MTS

سیستم پیشنهادی در این مطالعه که با استفاده از API MTS پیاده سازی شده است، دارای یک نقطه دسترسی است که تبادل داده ها بین دو طرف ذینفع را تسهیل می کند. این سرویس یک درخواست POST را از طریق پروتکل HTTP دریافت می کند. درخواست باید شامل سه عنصر باشد: (۱) مقصدی که داده ها باید به آن ارسال شوند، (۲) روش دسترسی به آن مقصد، و (۳) اطلاعاتی که فرستنده مایل به ارسال آن است. رعایت قالب پیش فرض مدل داده بسیار مهم است، زیرا API داده های موجود در بدنه درخواست را با فرمات JSON تفسیر می کند و از کلیدهای مربوطه برای شناسایی محتوا استفاده می کند.

پس از دریافت داده ها، پست داده رویه فعلی می شود. این تابع وظیفه دارد مقصد کلاینت IP مورداستفاده در پروتکل HTTP را تشخیص دهد. این به دلیل نیاز به ایجاد یک درخواست جدید برای ارسال اطلاعات است. `makeRequest` متدهای اجرای این درخواست جدید فعلی می شود که به طور جداگانه آدرس IP مقصد و داده هایی که باید منتقل شوند را به عنوان آرگومان دریافت می کند. پس از تکمیل این درخواست جدید، API پاسخ ارائه شده توسط سرور را دریافت کرده و این پاسخ را به کلاینت ارسال می کند. این زنجیره اقدامات را می توان در شکل مشاهده کرد [۳].



شکل ۳. عملکرد API پیشنهادی.

این قابلیت از طریق یک پورت خارجی به نام NodePort با استفاده از سرویس Kubernetes قابل دسترسی خواهد بود. در این زمینه، Kube-proxy با استفاده از NAT یک پورت متصل به سرویس ایجاد می کند [۳۵]. همانطور که در شکل دیده می شود [۳] انتظار می رود که کلاینت، موجود بودن سرویس موردنظر را در جیستری سرویس بررسی کند و در صورت موجود بودن، تمام اطلاعات مربوطه را دریافت کند. در نتیجه، فرمت داده ای که MTS API انتظار دارد باید شامل آدرس IP کامل، یعنی IP مقصده، پورت و نقطه پایانی باشد.

وظیفه جیستری سرویس شامل دریافت اطلاعات مربوط به برنامه ها و سرویس های موجود در سرور موردنظر و فعل می کند برنامه های کلاینت علاقه مند برای دریافت این جزئیات، امکان دسترسی به این برنامه هایا امکان هدایت مناسب داده های آنها است. برای انجام این عملکرد، MongoDB، SR از پایگاه داده IP SQL استفاده می کند [۳۸].

برای اینکه یک برنامه MEC برای علاقه مندان قابل دسترس باشد، برنامه باید فرآیند ثبت نام را انجام دهد. SR متنظر می ماند تا برنامه داده های مانند آدرس IP، شماره پورت و نقاط پایانی ارائه شده را ارسال کند. برنامه باید

حداقل یک نقطه پایانی ایجاد کنید. به محض رسیدن اطلاعات، SR اعتبار این داده ها را بررسی کرده و آنها را در ریگاه داده ذخیره می کند.

رجیستری سرویس، سرویسی است که از خارج توسط کلاینت برای بررسی وجود سرویس های ثبت شده قابل دسترسی است. کلاینت از یک نقطه دسترسی برای جستجو استفاده می کند و یک JSON حاوی اطلاعات سرویس و یک توکن احراز هویت تولید شده با کتابخانه JWT پایتون را با استفاده از یک کلید خاص در کد دریافت می کند.

۵. ارزیابی عملکرد

هدف این بخش، اعتبارسنجی طرح پیشنهادی با بحث در مورد موارد استفاده ای است که از MEC بهره مندی شوند، جزئیات محیط اعتبارسنجی را شرح می‌دهد و نتایج را ارائه می‌دهد. این نتایج با ویژگی‌های برنامه‌هایی که از MEC بهره مند می‌شوند مقایسه می‌شوند تا قابلیت اجرایی راه حل مورد بحث فهرستگرد.

کارپیشنهادی، نتایج خدمات را با استفاده از شاخص های کلیدی عملکرد (KPI) شرح داده شده در مقالات ارزیابی خواهد کرد. سناریوی ارزیابی شامل موارد استفاده از سلامت الکترونیک و اینترنت اشیا خواهد بود. برای حوزه سلامت، سناریوهای مانند جراحی از راه دور، مشاوره از راه دور، پشتیبانی امدادگر، رویدادهای حیاتی سلامت علایم حیاتی و برجسب های مکان، با استفاده از حدائق KPI های مورد نیاز برای هر کاربرد، بر اساس مطالعات مشاهده خواهد شد [۳۹]. برای سناریوهای اینترنت اشیا، ویژگی های خانه های هوشمند، اینترنت اشیا پوشیدن (WIOT) و مزارع با استفاده از اطلاعات شرح داده شده در [۴] تجزیه و تحلیل خواهد شد [۴]. شاخص های کلیدی عملکرد (KPI) که برای مقایسه در نظر گرفته می شوند، عمدتاً مربوط به تأخیر خواهد بود، اگرچه در صورت لزومی توان از اطلاعات دیگر نیز استفاده کرد. شاخص های کلیدی عملکرد در جدول ارایه شده اند [۲].

جداول ٢-٣-٤-٥-٦-٧-٨-٩-١٠

کاربرد	تأثیر
خانه هوشمند	اميلی ثانیه تا ۱۰۰ ثانیه
جراحی از راه دور	۲۰۰ ثانیه
مشاوره پزشکی از راه دور	اميلی ثانیه تا ۱۰۰ ثانیه
پشتیبانی پرایپلشکی	۲۰۰ ثانیه
رویداد برخانی سلامت	۲۰۰ ثانیه
مزروعه هوشمند	~ ساعت
برچسب های علایم حیاتی	۱۰۰ ثانیه
برچسب های قابل مکان باپ	۱۰۰ ثانیه

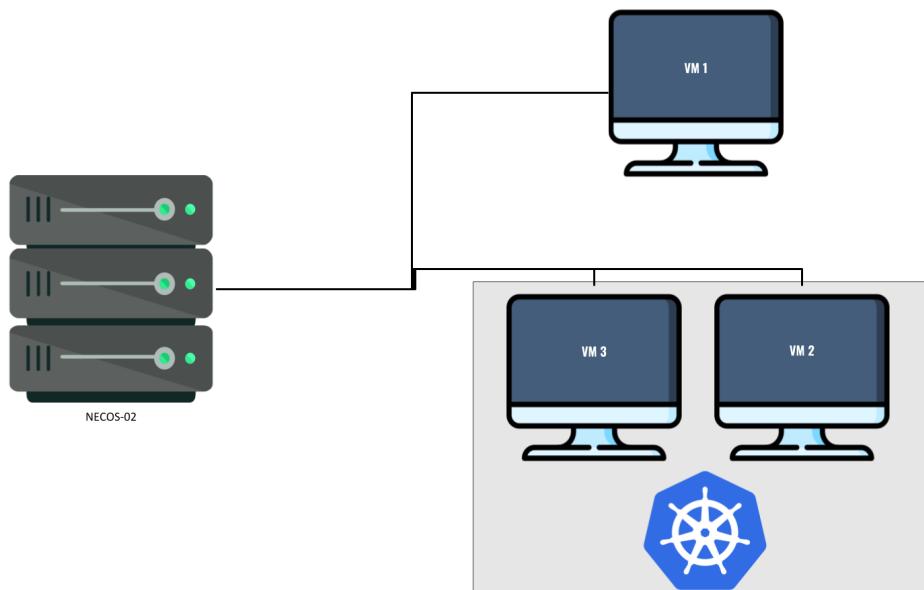
محیط زیست

یک محیط اعتبارسنجی برای این پیشنهاد طراحی شد و به دنبال یک چارچوب MEC و یک 5GC برای ارزیابی و اعتبارسنجی محصول نهایی بود. در ابتدا برخی از پلتفرم‌های MEC در نظر گرفته شدند، اما به دلیل عدم پشتیبانی از سوی این راه حل کاتینیری با استفاده از Kubernetes کنترل کننده انتخاب شد. 5GC انتخاب شده free5GC بود که برای تسهیل اجرای توابع شبکه، کاتینیری شده بود. استقرارها روی ماشین‌های مجازی میزبانی شده روی یک سرور اختصاصی انجام شد.

کلاستر Kubernetes که برای شبیه سازی پلتفرم MEC پیشنهاد شده است، شامل سه ماشین مجازی است، یک برای استقرار free5GC و دو تای دیگر برای پلتفرم MEC. همه ماشین های مجازی روی سروی به نام NECOS-02 VM1 که برای استقرار free5GC استفاده می شود، دارای 8 گیگابایت رم، 100 گیگابایت دیسک، 4 پردازنده مجازی و سیستم عامل Ubuntu Live Server 18.04 LTS است. VM2 دارای 2 گیگابایت رم، 120 گیگابایت دیسک و 4 پردازنده مجازی با سیستم عامل Ubuntu Live Server 18.04 LTS است. UPF شاخه ای UPF که برای اعتبارسنجی استفاده می شود شامل سه UPF است: (I-UPF) B-UPF و (M-UPF) MEC که برای اعترافاتی free5GC هستند. شکل ۴ اساختار اعتبارسنجی را نشان می دهد.

برای اعتبارسنجی این پیشنهاد، یک برنامه MEC برای شبیه سازی یک محیط سرتاسری توسعه داده شد که در آن ترافیک بین UE و برنامه از سرویس یکپارچه سازی استفاده می کند. علاوه بر این، یک SR ایجاد شد تا توکن های ثبت نام را برای برنامه هایی که مایل به استفاده از خدمات MTS API هستند، فراهم کند. پس از ترسیم نامه ها و خدمات آنها

دریک محیط عملیاتی مستقر شدند و از سرور Waitress برای اجرای برنامه های پایتون استفاده کردند. استقرارهای ماهنگ شدند و ابتدا SR اجرا شد تا امکان ثبت برنامه ها فراهم شود. مرحله اعتبارسنجی به سه مرحله تقسیم شد: مرحله اول، اجرای صحیح محیط آزمایش را تضمین می کرد، مرحله دوم شامل ثبت سرویس هادر SR بود و مرحله سوم شامل اجرای آزمایش ها و جمع آوری و ارزیابی نتایج بود.



شکل ۴. ساختار ماشین مجازی مورد استفاده در اعتبارسنجی.

۱۳.۵ معیارهای ارزیابی

این پیشنهاد با یک برنامه ساده که شاخص توده بدنش (BMI) را با استفاده از درخواست های POST محاسبه می کند، اعتبارسنجی خواهد شد. لازم به ذکر است که این درخواست می تواند به هر برنامه ای که در خوشیده در حال اجرا است و به طور مناسب در SR ثبت شده است، ارسال شود. بنابراین، استفاده از این برنامه محدود به تأیید قابلیت اجرای API پیشنهادی است.

برای انجام این کار، سه سناریو با تعداد کاربران مختلف (۱، ۱۰، ۵۰ و ...) اجرا خواهد شد.

۱۰۰)، شبیه سازی توانایی پاسخگویی به درخواست های همزمان. هر سناریو در زمان های اجرای مختلف ۱، ۱۰، ۶۰ و ۶ ثانیه اجرا خواهد شد.

این تغییر با هدف ارزیابی تغییرات عملکرد در طول دوره های پیوسته انجام می شود. ابزار Locust درخواست های HTTP را ایجاد کرده و میانگین زمان پاسخ و میانگین تعداد درخواست ها را به دست می آورد [۴۲].

علاوه بر این، سرور عملیاتی با چهار و هشت رشته برای ارزیابی عملکرد آزمایش خواهد شد. مجموعه های آزمایشی ده بار اجرا می شوند تا نتایج قابل اعتمادی به دست آید و یک بازه اطمینان ۹۵٪ برای ارزیابی تغییرپذیری نتایج محاسبه می شود. بازه اطمینان (سی) با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود:

$$\text{سی} = \frac{\text{ایکس}}{\sqrt{\text{ایکس}}} \cdot Z_{\text{سیکما}}$$

کجا ایکس نشان دهنده میانگین زمان پاسخ نمونه به دست آمده در ۱۰ اجرا است. ز توزیع نرمال ۱.۹۶ برای سطح اطمینان ۹۵٪ است. سیگمانشان دهنده انحراف معیار زمان های پاسخ است، در حالی که حجم نمونه را نشان می دهد. فوائل نتایج بالا و پایین را نشان می دهد.

آزمون ارتباط سرتاسری

هدف این آزمایش نشان دادن امکان برقراری ارتباط سرتاسری است. برای انجام این کار، درخواست هایی به برنامه ای که با استفاده از سرویس یکپارچه سازی توسعه داده شده است، ارسال خواهد شد. جنبه های زیر مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت: (۱) پاسخ به درخواست و اینکه آیا با آنچه انتظار می رفت مطابقت دارد یا خیر؛ (۲) زمان صرف شده برای بررسی و ارسال اولین پاسخ؛

(iii) زمان پاسخ درخواست ها. علاوه بر این، رابط UPF با برنامه برای ثبت بسته برای تجزیه و تحلیل بعدی نظارت خواهد شد. برای موارد 1 و 4، فقط یک درخواست انجام خواهد شد، با توجه به اینکه اطلاعات مشاهده شده تغییر نخواهد کرد. با این حال، برای سایر موارد 30 اجرا انجام خواهد شد تا میانگین زمان به دست آید. فوایل اطمینان نیز برای زمان های مورد بحث محاسبه خواهد شد. برای این آزمایش، از هیچ ابزار آزمایش خاصی استفاده نخواهد شد. اندازه گیری درخواست و زمان با استفاده از برنامه های بومی اوپننتو انجام خواهد شد.

۳۰ آزمون اعتبارسنجی سرتاسری

- هدف از اعتبارسنجی سرتاسری، بررسی این موضوع است که آیا ارتباط موفقیت آمیزی بین UE و App وجود داشته است یا خیر، و ترافیک از UPF و MTS-API عبور می کند. نقطه کانونی تحلیل، تبادل پیام هایین UPF و API بود. برای این منظور، در طول ارتباط، بسته های رد و بدل شده ضبط شدند و امکان اعتبارسنجی، مسیر طریق شده توسط هر درخواست فراهم شد.

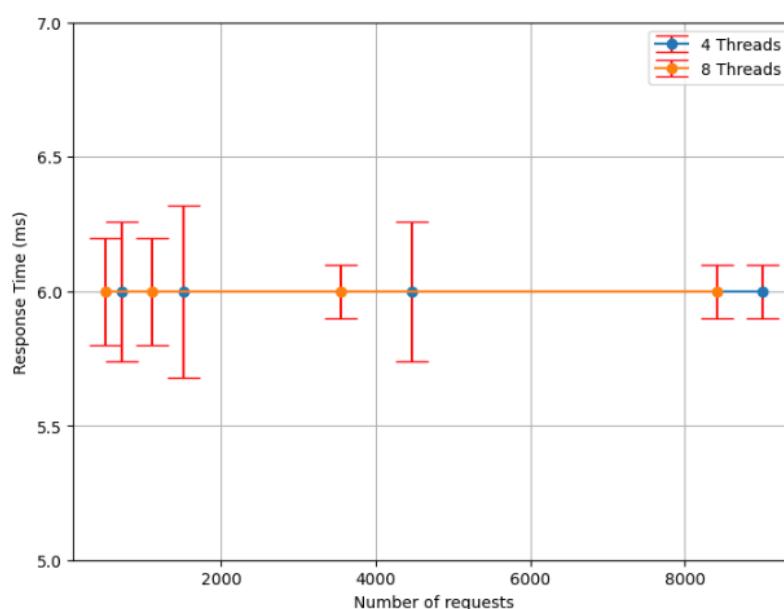
این تحلیل همچنین میانگین زمان پاسخگویی برای درخواست‌ها را ۳۱ میلی ثانیه با انحراف معیار ۰.۷۶ نشان داد. این انحراف معیار نشان می‌دهد که زمان پاسخگویی در ۳۰ اجرا، تغییر اندکی داشته و نزدیک به میانگین بوده است. هنگام تأیید وجود سرویس و دریافت توکن از UE، زمان پاسخگویی ۲۶ میلی ثانیه با انحراف معیار بالاتر ۰.۲۱ است که نشان دهنده تغییر قابل توجه تر در زمان‌های پاسخگویی است. با در نظر گرفتن کل فرآیند، میانگین زمان ۵۷ میلی ثانیه با انحراف معیار ۰.۶۳ به دلیل انحراف معیار بررسی وجود سرویس است.

این نتیجه نشان می دهد که این راه حل برای موارد استفاده از سلامت الکترونیک قابل اجرا است. طبق [۱۴]، که KPI ها را برای سناریوهای مراقبت های بهداشتی ارائه می دهد، این راه حل برای کاربردهای مانند مشتبیان امدادی، و رویدادهای بحرانی، (که در مقاله مشخص نشده است) مناسب خواهد بود.

۱۴- نتایج ارزیاب

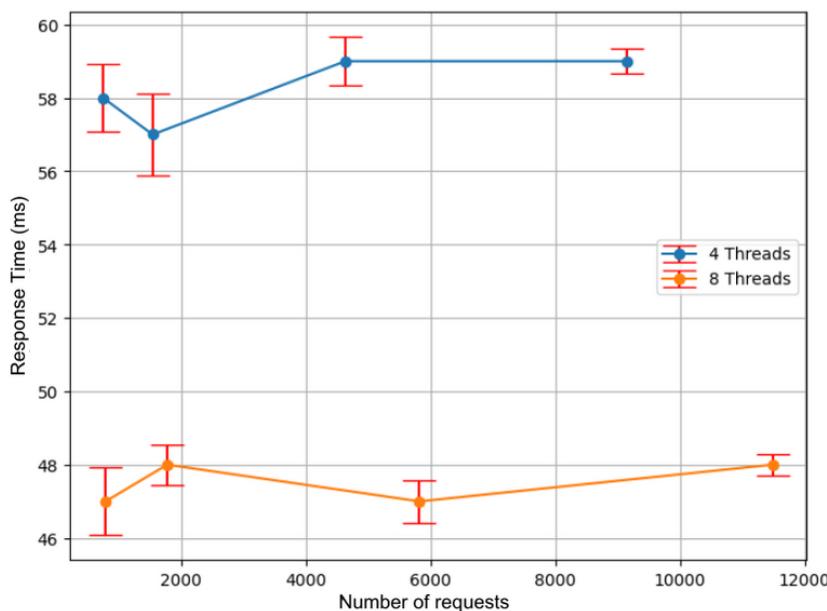
نتایج ارایه شده بر اساس معیارها و موارد استفاده ارایه شده است. تغییر در تعداد کاربران به ما این امکان را می دهد که رفتار سرویس را در سناریوهایی با رقابت برای منابع یکسان ارزیابی کنیم. آزمایش های ارایه شده در اینجا تحریر هستند. در سناریوهای واقعی، اعداد ممکن است متفاوت باشند.

شكل ۵ نتایج را برای یک کاربر نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رفت، زمان پاسخ برای چهار و هشت‌نخ مشابه است. می‌توان مشاهده کرد که هر چه زمان اجرا طولانی‌تر باشد، انحراف معیار کوچکتر است و در ۳۰ ثانیه به ۰ رسید و بنابراین فاصله اطمینان کوچکتری را ارائه می‌نماید. زمان پاسخ بدست آمده‌الزمات [۲] را برآورده می‌کند. برای سناریوهای خانه هوشمند و حتی بازی‌ها، که به تأخیر ۱۰ میلی ثانیه یا کمترین بازدارند.



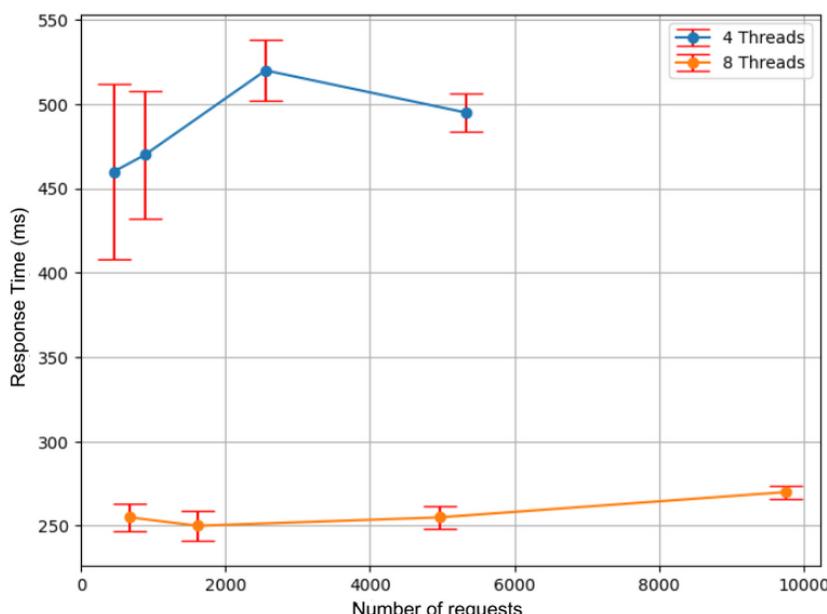
شکل ۵. عملکرد با ۱ کاربر.

وقتی سناریویی را با ده کاربر اجرا می‌کنیم (شکل ۶)، زمان پاسخ افزایش می‌یابد و با چهار رشته به ۵۸ میلی ثانیه و با هشت رشته به ۴۷ میلی ثانیه می‌رسد. دلیل این امر این است که برخلاف سناریوی قبلی، رقابت برای همان منبع (استفاده از خدمات) وجود دارد. همانند سناریوی قبلی، سناریوهای گستردگی در دارای فواصل اطمینان کوچکتر با تغییرات زمانی جزئی هستند. این نتیجه، این راه حل را در سناریوهای برنامه‌های پشتیبانی امدادی یا رویدادهای بحرانی سلامت، قابل اجرا می‌کند [۱۴].

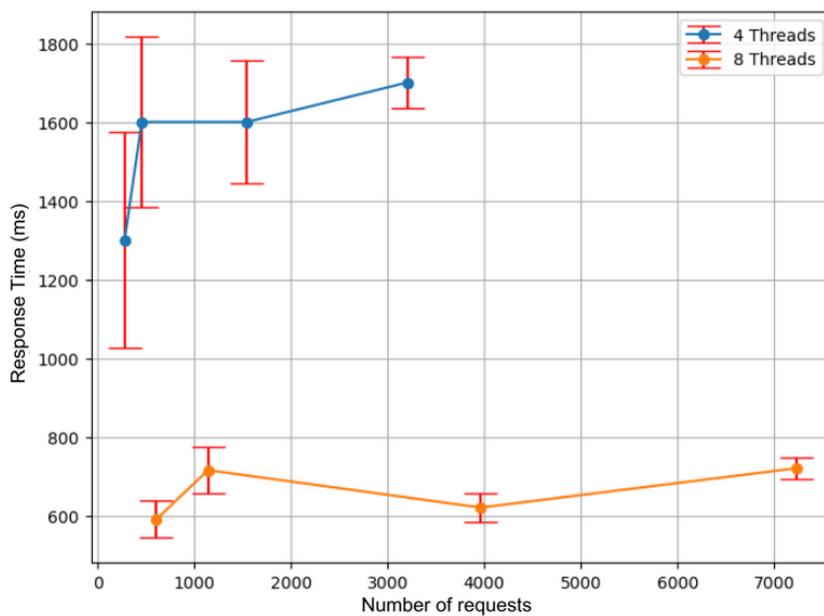


شکل ۶. عملکرد با ۱۰ کاربر.

برای ۵ و ۱۰۰ کاربر (شکل ها ۷ و ۸)، تأخیر به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و تأخیرها به ترتیب با استفاده از چهار رشته به ۵۲۰ میلی ثانیه و ۱۷۰ میلی ثانیه می‌رسند. این مقادیر با افزایش قدرت پردازش به هشت رشته، با ۲۵۰ میلی ثانیه برای ۵ کاربر و ۵۹۰ میلی ثانیه برای ۱۰۰ کاربر، کاهش می‌یابند.



شکل ۷. عملکرد با ۵ کاربر.



شکل ۸. عملکرد با ۱۰۰ کاربر.

نتایج مربوط به ۵۰ کاربر، نشان دهندهٔ قابلیت اجرای این راهکار برای سناریوهای کشاورزی هوشمند است، به عنوان مثال، با انتقال داده‌ها از حسگرها و برچسب‌های مکان، [۳۹، ۴۰] با ۱۰۰ کاربر، نتایج نشان می‌دهد که سناریوهای مانند خانه هوشمند، برچسب‌های موقعیت مکانی و مشاوره پزشکی از راه دور، زمان پاسخگویی بسیار بالایی را می‌پذیرند. [۴۱، ۴۲].

نتایج نشان می‌دهد که راهکار مطابق انتظار عمل کرده است. زمان‌های نمایش داده شده در نمودارها، نشان دهندهٔ قابلیت اجرایی راهکار در موارد استفاده‌ی مختلف ارائه شده در مقالات و این کار است. با این حال، با تکامل برنامه‌ها و شبکه، ممکن است موارد استفاده‌ی جدیدی ایجاد شود و تقاضاهای جدیدی موردنیاز باشد. بنابراین، در درازمدت، لازم است قابلیت اجرایی این راهکار در سناریوها و نیازهایی که پیش خواهد آمد، بررسی شود.

۶. نتیجه‌گیری

ادبیات موجود به صورت محدود به ادغام بین شبکه‌های 5G و MEC من پردازد و عمدتاً بر معماری‌های مفهومی جدید تمرکز دارد. با این حال، شکاف‌هایی در رابطه با پیاده‌سازی و اعتبارسنجی این پیشنهادهادر یک 5GC وجود دارد.

از این رو، ما یک پیاده‌سازی به عنوان سرویس برای اتصال 5G و MEC پیشنهاد داده ایم. این سرویس، افزونه‌ای از API MTS تعریف شده توسط ETSI است که به دنبال سازگاری اهداف می‌باشد. اعتبارسنجی در یک محیط مجازی با هسته شبکه 5G، شبیه سازی NB، و یک خوشه Kubernetes به عنوان پلتفرم MEC انجام شده است.

نتایج اعتبارسنجی، توانایی سرویس پیشنهادی را در برقراری ارتباط بین UE و برنامه، از جمله ارزیابی عملکرد، به ویژه برای برنامه‌های URLLC نشان داد. راه حل پیشنهادی را می‌توان با سایر راه حل‌های موجود در مقالات مقایسه کرد و برای بهبود زمان پاسخ، با هدف دستیابی به زمان‌های پایین تر و پایدار، بهینه سازی نمود.

این کار با فعال کردن ادغام 5G-MEC از طریق سرویسی که به عنوان یک برنامه کاربردی مستقر شده است، به هدف کلی خود دست یافت. این راه حل نتایج رضایت‌بخشی را در سناریوهای ارزیابی شده نشان داد و مبنایی برای مطالعات و بهینه سازی های آینده فراهم کرد. برای کارهای آینده، ما در حال کار بر روی اعتبارسنجی سرویس، از جمله محیط واقعی O-RAN و برنامه چند مستاجری واقعی هستیم.

مشارکت‌های نویسنده: مفهوم سازی، RX، LF، AO، J-AO؛ نرم افزار، RX، LF و AO؛ روشناسی، J-AO؛ تحقیق، RX، LF، RSS و J-AO؛ نگارش - تهیه پیش نویس اصلی، RX؛ نگارش - بررسی و پیرایش، LF؛ مصوروسازی، RX، LF، AO-J و J-AO؛ نظارت، J-AO و LF؛ مدیریت پروژه، MR؛ WM و WM-AO.. همه نویسندان نسخه منتشر شده مقاله را خوانده و با آن موافقت کرده‌اند.

Foundation)FAPESP: این کار تا حدودی توسط Fraunhofer Portugal AICOS و تا حدودی توسط Smart 5GC And MUltiRAn Integration)SAMURAI از طریق پروژه MCTIC/CGI.br/São Paulo Research تحت کمک هزنه 05127-2-052020-2 بسته بانی شده است.

بیانیه دسترسی به داده ها: مجموعه داده ها بنا به درخواست نویسنده‌گان در دسترس است.

تضاد منافع: نویسنده‌گان هیچ گونه تضاد منافع را اعلام نمی‌کنند.

اختصارات

در این دست نوشته از اختصارات زیر استفاده شده است:

پروژه مشارکت نسل سوم سیستم 5G	3GPP 5GS
رابطبرنامه نویسی کاربردی مدیریت دسترسی و تحرک، فرادر از 5G	ایام اف اطیبه نویس کاربردی
شاخه بندی UPF	انجین
شاخص توده بدنی	انجین اف بیوپن اف
مدیریت پنهانی باند	(BMI) شاخص توده بدن
صفحه کنترل	بین دلیلو ام تسین
شبکه داده مدیریت خودکار برش توزیع شده	داداسمو دانیان
صفحه داده	دیکیپن
اگرایا بت	ایپن
هسته بسته تکامل یافته پنهانی باند	ایام ب ب
موبایل پیشرفت	طرخ و برآمده رزی
رادیو جدید 5G	جان بی
سرور مشرکین خانگی	چاوس اس
پروتکل انتقال ابرمنت یکپارچه	تچ بی
NZDیک به RT RIC	ندریک گردخنفقات ندریک به سرک تحقیقات
یوبی اف اینترنتی	انجین اف
اینترنت اشیا با دسترسی یکپارچه	ایپن ب
Backhaul	پلندرست اشیا
نشانه گذاری شیء جاوا اسکریپت در JSON Web Token	جج سون
شاخص عملکرد کلیدی MEC	جج بیلوو اف شاخص کلیدی عملکرد (KPI)
پنهانی باند موبایل	M-UPF
کاربرد MEC محاسبات لبه ای با دسترسی چندگانه	ایپن ب ام ام ای س
پلتفرم MEC هماهنگ کننده لبه با دسترسی چندگانه	برنامه میو همایه برآلمان اروبا
مدیریت پلتفرم MEC	ایم ای ب ام
مدیریت تحرک چند ورودی و چند خروجی موجودیت ارتباطات نوع ماشین عظیم هدایت ترافیک چند دسترسی	مامایمو ام ام ای ام ام ام تی س
عملکرد نورده شبکه کنترل کننده هوشمند RAN	انجین اس انجین اف NFW
تقریباً بلندرنگ	NPNها
مجازی سازی عملکرد شبکه، شبکه های خصوصی	نورت ان اس
رادیو جدید	انجنس اس اسیت مل
برش شبکه	OAI
غیر مستقل	استراحت
OpenAir	انجنس میوس (QoS)
رابطکاربری خدمات	اسی ای
انتقال حالت نمایندگی مستقل	اسی ای

معماری مبتنی بر سرویس رابط	اس بی ای
مبتنی بر سرویس شبکه های	اسپی آی
تعریف شده‌نم افزاری تابع مدیریت	SDN اف
جلسه‌شبکه خودسازمانده رجیستری	اسلام اف
سرویس	پسر
	اس آر
تجهیزات کاربر	انجمنی‌اروپا
کیفیت فوق العاده بالا	بوج دی
تابع صفحه کاربر	بوب اف
ارتباطات فوق العاده مطمئن با تأخیر کم، ارتباط خودرو	آدرس اینترنتی
باهمه چیز	وی‌ای‌الکس
مدیریت‌ساخت مجازی سازی ماشین مجازی	وی‌بم
توابع شبکه مجازی اینترنت اشیا	ماشین‌محاجی
پوشیدنی	وی‌ان اف
	اینترنت‌اشیا

منابع

۱. صلاح، آی؛ مبروک، ام، ام؛ حسین، ای، آی؛ راهوما، کی، اج. مطالعه تطبیقی فناوری های افزایش بهره وری در شبکه های 5G - یک نظرسنجی. علوم کامپیوتر ۱۵۰-۱۵۸، ۲۰۲۱، [کراس رف].
۲. چن، س؛ ژائو، ج. الزامات، چالش ها و فناوری های 5G مخابرات سیار زمینی. مجله ارتباطات IEEE ۱۴، ۲۰۵۳، ۴۳-۳۶. [کراس رف].
۳. ژائو، ل؛ زو، گ؛ ژنگ، گ؛ چی-لین، آی؛ بیو، ایکس؛ هانزو، ل. محاسبات لبه ای متن باز با دسترسی چندگانه برای نسل ششم اینترنت همراه: فرصت ها و چالش های دسترسی ۹، ۲۰۲۱ IEEE، ۱۵۸۴۳۹-۱۵۸۴۴۶. [کراس رف].
۴. Pivoto، DGS؛ Rezende، TT؛ Facina، MSP؛ کاردوسو، اف. د اولیورا سیلو، آر. KV؛ Correa، SL؛ Araujo، AVD؛ سیلو، RSE6 ۱۳ IEEE، ۲۰۲۳، ۴۴-۸۹۶۸۴. [کراس رف].
۵. وانگ، ی؛ ژائو، ج. محاسبات لبه موبایل، متاورس، ارتباطات بی سیم 6G، هوش مصنوعی و بلاکچین: بررسی و همگرایی آنها. در مجموعه مقالات هشتمین مجمع‌جهانی IEEE 2022 در مورد اینترنت اشیا (WF-IoT)، یوکوهاما، ژاپن، ۲۶ اکتبر تا ۱۱ نوامبر 2022؛ صفحات ۱ تا ۸. [کراس رف].
۶. مشارکت نسل سوم (3GPP)، TR21.915 V15.9.0. پروژه مشارکت نسل سوم. ۲۰۱۸. به صورت آنلاین در دسترس است: [/archive/21_series/21.915](https://www.3gpp.org/ftp/Specs).
۷. امگون، ۵؛ مزی، ت. مقایسه بین معماری های مختلف 5G برای ادغام بهتر این خدمات و پیشنهاد یک معماری بهبود یافته. در مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین المللی کاربردهای شهر هوشمند، کارابلانکا، مراکش، ۲ تا ۴ اکتبر ۲۰۱۹؛ صفحات ۱ تا ۷.
۸. رومر، اس، هدمون، پ، اولسون، ام، فرید، ال، سلطانا، س، مولیگان، س. شبکه های اصلی 5G: تقویت دیجیتالی شدن؛ الزویر: آمستردام، هلند، ۲۰۱۹.
۹. فیلالی، ع، ابوعلام، ا، چرکاوی، س، کوبانی، آ، M. Guizani. محاسبات لبه چند دسترسی: یک بررسی دسترسی ۱۷، ۲۰۲۰ IEEE، ۱۷-۱۹۷۰. [کراس رف].
۱۰. شن، دبلیو؛ کایو، جی؛ ژانگ، کیو؛ لی، واي؛ شو، ال. محاسبات لبه: چشم انداز و چالش ها/اینترنت اشیا /IEEE ۱۶، ۲۰۲۰، ۳، ۶۳۷-۶۴۶. [کراس رف].
۱۱. ویدیس، آ، ناردنین، گ؛ استیا، گ؛ سابلاد، د، ارزیابی عملکرد سرتاسری استقرار MEC در سناریوهای 5G. شبکه محرک های جی. سنس. ۵۷، ۲۰۲۰. [کراس رف].
۱۲. عباس، ن؛ ژانگ، ی؛ طاهرکردی، ا؛ اسکی، ت. رایانش لبه ای موبایل: یک بررسی اینترنت اشیا /IEEE ۱۷، ۲۰۲۰، ۵، ۴۵۰-۴۶۵. [کراس رف].
۱۳. اچارچوب و معماري مرجعگزارش فني برای محاسبات لبه اي با دسترسی چندگانه (MEC)؛ ETSI: والبون، فرانسه، ۲۰۲۲. به صورت آنلاین در دسترس است: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/003/03.01.01_60/gs_mec003v030101p.pdf.
۱۴. آهای مدیریت ترافیک API گزارش فنی برای محاسبات لبه ای با دسترسی چندگانه (MEC)؛ ETSI: والبون، فرانسه، ۲۰۲۰. به صورت آنلاین در دسترس است: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/015/02.01.01_60/gs_mec015v020101p.pdf.
۱۵. گیوست، ف، ورین، جی، آنتووسکی، ک، چو، جی، نیش، ای، W، Featherstone، اف، فوتنس، اف، فریدمن، دی، لی، ا، منزلینی، ع، و همکاران استقرار MEC در 4G و نکامل به سمت 5G گزارش رسمی ETSI، ۲۰۲۰، ۲۴-۲۴۱. [کراس رف].
۱۶. ککی، س، W، Featherstone، ای، کوئرده، پی، لی، ا، رنجان، ع، پورکایاستا، دی، جیانگ پینگ، اف، فریدمن، دی، ورین، جی، و همکاران MEC در شبکه های 5G گزارش رسمی ETSI، ۲۰۲۰، ۲۸-۲۸۱. [کراس رف].
۱۷. سیلو، آر، اولیورا جونیور، AC؛ کاردوسو، KV؛ هر دو، CB Entendendo، Núcleo SBRT 2020: Livro de Minicursos da Paraíba-IFPB: Florianópolis, SC، ۲۰۲۱؛ فصل ۱، ۹، ۶ دسامبر ۲۰۲۱؛ Instituto Federal do Ensino, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB: Florianópolis, SC، ۲۰۲۱؛ صفحات ۱ تا ۱۰.
۱۸. مالکی، ای، اف؛ ما، دبلیو؛ مشایخی، ال؛ لا روشن، اج. انتخاب مؤلفه 5G آگاه از QoS برای تحويل محتوا در محاسبات لبه ای با دسترسی چندگانه. در مجموعه مقالات چهاردهمین کنفرانس بین المللی ACM/IEEE در مورد خدمات رفاهی و محاسبات ابری، لستر، انگلستان، ۶ تا ۹ دسامبر ۲۰۲۱؛ صفحات ۱ تا ۱۰.

۱۹- ایوای، ت.؛ ناکایو، آ. رفع ابهام از افسانه های MEC: بازندهی و بررسی مزایای محاسبات لبه ای با دسترسی چندگانه/موبایل. در مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس بین المللی IEEE، ۲۰۱۸، IEEE، یوکوه، ژاپن، ۲۲ تا ۲۴ اکتبر ۲۰۱۸؛ صفحات ۱ تا ۴.

پیپل دی دادوس. 2021. در دسترس آنلاین. 20. Agência Nacional de Telecomunicações.
[\(دسترسی در ۷ مه ۲۰۲۱\).](https://informacoes.anatel.gov.br)

۱۱- اریکسون، گزارش تحرک اریکسون ۲۰۲۰ به صورت آنلاین در دسترس است: <https://www.ericsson.com/en/press-releases/2020/11/more-than-1-billion-people-will-have-access-to-5g-coverage-by-the-end-of-2020>.

-100ms-of-latency-cost-them-1-in-sales: ۲۲. آمازون دریافت که هر ۱۰۰ میلی ثانیه تأخیر، ۱٪ از فروش آنها را کاهش می‌دهد. ۲۳. به صورت آنلاین در دسترس است: <https://www.gigaspaces.com/blog/amazon-found-every> (دسترسی در ۱۲ دسامبر ۲۰۲۳).

[IEEE ۳۴.۲۰۲۰، شبكه همراه اينترنت پنجم پر نسل در برش قابلیت دسترسی با آيچند کسیتین، آفرنگوپس، پنسیلوانیا، سوی محاسبات ایچند دسترسی با قابلیت برش در شبکه IEEE ۳۴.۲۰۲۰، ۹۹-۱۰۵.]

۲۴. م، اج؛ ل، اس؛ زانگ، ای؛ ال.وی، زی؛ هو، جی؛ وی، ایکس. ۵G میتن بر MEC با کمک رانندگی خودران مشارکتی؛ طراحی نمونه اولیه سیستم، آزمایش‌های میدانی و ارزهارهای بھیه سازی میتن بر هوش مصنوعی. دسترسی IEEE ۸۰۲.۱۰۰-۲۰۲۰. [کارا رف]

۲۵. طرح ۲۰۲۱ my5G، my5G-Core. به صورت آنلاین در دسترس است (<https://github.com/my5G/my5G-core>).
۲۶. موسس، اف. ذ.; دلمندا، ح.; ام. اف. بنتو، ح.; کاردوسو، ک.; وی، آر.; کترادرس، ال.; ریگ، آر.; هدود، س.; د. بلیس، آران; جاگذار، یعنیه ته

۲۷. شبکه، دسترسی رادیویی زمینی جهانی تکامل یافته، پروژه مشارکت نسل سوم؛ خدمات گروه مشخصات فن و جنبه های سیستم؛ بیهودهای سرویس رادیویی پسته ای عمومی (gprs) برای دسترسی به شبکه دسترسی رادیویی زمینی جهانی تکامل یافته (E-UTRAN) (E). شبکه ۲.۱۱ EUTRA. موجود به صورت آلاتیں:

²⁸ فکاری، اکبر، «الگوریتم های انتخابی در شبکه های موبایل 5G»، *IEEE تراجمان*، ۲۰۱۷، ۲۰، ۳، ۵۶۷-۵۸۴.

^{۲۹} ماموشیان، ل؛ دلمنین، س. بهره‌گیری از SDN/NFV به عنوان سنگ بنای اصلی ورود به عصر ۵G در بازارهای نوظهور. در مجموعه مقالات اجلاس جهانی IEEE (GWS)، پانزدهمین کنفرانس تئوری و تکنیک اینترنت، ۱۸ تا ۲۰ آگوست، ۲۰۱۷، هفتمین دوره، ۳۲۳-۳۲۷.

بی سیم (GWS) IEEE، ۲۰۱۷، یکی ناون، اورهای جنوبی، ۱۵ تا ۱۸ اکتبر ۱۷: صفحات ۱۱-۱۷.

۳۲. کوکلینسکی، ل.؛ توماشفسکی، س.؛ رویکردی، مقباس؛ بذر برای مدیریت و هماهنگ سازی، برش، های، شکه. در *مجموعه مقالات سمیناریوم عملیات و نوآوری های هوش مصنوعی*، نیووس مارمارا، یونان، ۷-۱۰، ۲۰۰۵؛ اشپرینگر: برلین/هایدلبرگ، آلمان، ۲۰۰۲؛ صفحات ۱۵-۲۴.

۳۳. کوکلینسکی، س؛ توماشفسکی، ل؛ کولاکوفسکی، ر. درباره ادغام Network Slicing، O-RAN، MEC، SON و IEEE.

^{۳۴}. ETSI: نگارش فنی. ۲.۲۰. به صورت آنلاین در دسترس است. G MEC: یکپارچه سازی(5)MEC. محاسبات لبه ای با دسترسی چندگانه.

۲۵ (دسترسی به) https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/MEC/001_099/031/02.01.01_60/gr_MECo31v02010101.pdf

۳۶ ETSI: مهندسی مطابقتی (MCE) این ماده مخصوصاً برای دسترسی آنلاین به محتواهای مذکور در این پرونده است.

^{۳۷} کوربینت، کوربینت، ۱۱. ۲. هم‌صورت آنلاین در دسترس است: <https://kubernetes.io/pt-br/docs/>. ۰۲.۰۹.۲۰۲۳.

۳۸. مونگو دی بی. مونگو دی بی. به صورت آنلاین در دسترس است: (<https://www.mongodb.com/pt-br>) (دسترسی در ۲۹ آگوست ۲۰۲۲).

^{۳۹} ویچیلکا، س؛ لیانه، م. بررسی پرش شبکه برای تحقق اینترنت اشیاء در شبکه های ۵G. آموزش های ارتباطات و برق IEEE ۷، ۲۳۰-۲۱۳۱.

این دستگاه را می‌توان برای اینکه از شبکه 5G استفاده کنید، در اینجا آنرا با شبکه 4G مقایسه کنید.

^{۱۴}. پورامیاج، پ.; اوکوبه، ج.; لیاناز، م.; طالب، ت. بررسی محاسبات لیه ای با دسترسی چندگانه برای تحقق اینترنت اشیا. مدرس ارتباطات، نظارت

یک چارچوب تست بار مدرن. ۲.۰۲۲. به صورت آنلاین در دسترس است—Locust. Locust (<https://locust.io/>) (دسترسی در ۹ فوریه ۲۰۲۲).

Journal of Oral Rehabilitation 2006; 33: 103–109 © 2006 Blackwell Publishing Ltd

اشاره شده است را از خود سلب می کنند.