



دانشگاه کاشان
University of Kashan

مجله محاسبات نرم

SOFT COMPUTING JOURNAL

تارنمای مجله: scj.kashanu.ac.ir



ارائه یک روش مبتنی بر پردازش مه سیار برای اجرای برنامه‌های دستگاه‌های هوشمند در محیط امن

انتصار حسینی^۱، دانشجوی دکتری، محسن نیک‌رأی^۲، استادیار
^۱ دانشکده فنی و مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه قم، قم، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

با رشد چشمگیر برنامه‌های دستگاه‌های هوشمند و اینترنت اشیاء حجم تبادل داده‌ها در شبکه افزایش پیدا کرده است. معماری متمرکز و سنتی پردازش ابر با توجه به تأخیر و انبوه درخواست‌ها، پاسخگوی تقاضای زیاد کاربران و اجرای مناسب برنامه‌های حساس به تأخیر و بی‌درنگ نیست. در این مقاله یک معماری مبتنی بر پردازش مه سیار مجازی برای حل این چالش‌ها ارائه شد که لایه‌ای میان برنامه‌های تلفن همراه و لایه ابر ایجاد می‌کند. ذخیره‌سازی، پردازش و ارتباطات امن در این لایه در گره‌های مجزای مستقل از ابر انجام می‌شود. هرکدام از این گره‌ها به صورت مجازی بر روی یک سرور واحد پیاده‌سازی می‌شوند. ما یک برنامه واقعیت افزوده مبتنی بر نشانگر با نمایش اشیاء سه‌بعدی پویا در سیستم هوشمند اندروید ارائه دادیم و کارکرد آن را در معماری مبتنی بر ابر و معماری پیشنهادی در دو شبکه اینترنت همراه ۴جی و مخابرات ارزیابی کردیم. نتایج ارزیابی کارکرد بهینه‌تر معماری پیشنهادی را در هر دو شبکه ارتباطی نشان می‌دهد. اجرای مدل‌های سه‌بعدی با حجم بالا با استفاده از اینترنت مخابرات در معماری مبتنی بر مه سیار ارائه شده، سریع بوده و انتظار یک برنامه بی‌درنگ را برآورده می‌کند.

تاریخچه مقاله:

دریافت ۰۳ خرداد ماه ۱۳۹۸
پذیرش ۰۱ مرداد ماه ۱۳۹۹

کلمات کلیدی:

دستگاه‌های هوشمند
اینترنت اشیاء
ابر
پردازش مه سیار
واقعیت افزوده
بی‌درنگ

© ۱۳۹۹ - مجله محاسبات نرم، کلیه حقوق محفوظ است.

۱. مقدمه

ذخیره‌سازی و پردازش است که برای جمع‌آوری و پردازش داده‌های چندین کلاینت در یک مکان به صورت متمرکز به کار می‌رود [۱]. این منابع در شبکه فعال هستند و از طریق مکانیسم‌های استاندارد در دسترس هستند [۲]. متمرکز شدن منابع در فضاهای ابری باعث تقسیم منابع میان کاربران نهایی و ابرها می‌شود که این به نوبه خود باعث ایجاد تأخیر در شبکه می‌شود. برای برنامه‌های کاربردی حساس به تأخیر مختلف مانند شبکه‌های حمل و نقل و واقعیت افزوده^۲، حل این مشکلات اهمیت دارد [۳]. به همین علت در سال‌های اخیر، با ادغام محاسبات ابر و مه، قدرت پردازش در شبکه‌های مختلف اینترنت

با توسعه اینترنت همراه و شبکه اینترنت اشیاء^۱، انجام محاسبات، ذخیره‌سازی و مدیریت شبکه با چالش‌های زیادی روبه‌رو شده است. این چالش‌ها از جمله تأخیر شدید، محدودیت فضای ذخیره‌سازی، منابع محدود، خدمات بدون وقفه و امنیت با معماری پردازش ابری به طور دقیق قابل حل نیست. محاسبات ابرمجموعه‌ای از منابع محاسباتی از جمله سرور، فضای

✧ نوع مقاله: پژوهشی

* نویسنده مسئول

پست‌های الکترونیک: e.Hoesini@stu.qom.ac.ir (حسینی)

m.nickray@qom.ac.ir (نیک‌رأی)

2. Augmented Reality

1. Internet of Things

نحوه ارجاع به مقاله: حسینی، انتصار، نیک‌رأی، محسن، «ارائه یک روش مبتنی بر پردازش مه سیار برای اجرای برنامه‌های دستگاه‌های هوشمند در محیط امن»، مجله محاسبات نرم، جلد ۸، شماره ۱، ص ۴۳-۵۷، بهار و تابستان ۱۳۹۸.

عملیاتی از طریق این ماشین‌های مجازی^۶ یا شبکه‌ای از ماشین‌های مجازی قابل دریافت است. زیرساخت مجازی‌سازی نه تنها امکان ارائه خدمات MEC را فراهم می‌کند، بلکه سایر سرویس‌های مرتبط مانند مجازی‌سازی عملکرد شبکه^۷ و شبکه تعریف شده نرم‌افزار^۸ را نیز می‌تواند ارائه دهد [۹]. در این مقاله، هدف ما ارائه یک راهکار مبتنی بر معماری VMFC است که با استفاده از آن بتوان یک لایه مه با استفاده از گره‌های مجازی را قبل از رسیدن به لایه ابر پیاده‌سازی کرد. خصوصیت ویژه این لایه، کاربرد آن برای برنامه‌های کاربردی در دستگاه‌های هوشمند است که برای هر شبکه از دستگاه‌های هوشمند از جمله سلامت، آموزش و بازی گره مه مجزایی وجود دارد. این خصوصیت تأخیر موجود در معماری MCC را کاهش می‌دهد. امکان دسترسی دستگاه‌ها به فضای مورد نظر برای ذخیره، پردازش و گزارش‌گیری در هر مکان و زمانی با استفاده از اینترنت همراه، شبکه‌های اینترنتی فعال در سطح شهر و استان فراهم است. در ادامه، بخش‌های مختلف مقاله این پژوهش را کامل‌تر بیان می‌کند. سایر قسمت‌های مقاله بدین شرح است: در بخش ۲ مروری بر کارهای انجام‌شده در محیط‌های MCC، MEC و FC ارائه می‌شود و مزایا و معایب آن‌ها را در مقایسه با کار پیشنهادی خود بررسی می‌شود. در بخش ۳ روش پیشنهادی ارائه می‌شود. بخش ۴ پیاده‌سازی این روش با استفاده از یک نمونه برنامه کاربردی واقعیت افزوده ارائه می‌دهیم و در بخش ۵ روش پیشنهادی ارائه‌شده را ارزیابی کرده و در مورد نتایج به دست آمده بحث می‌کنیم. در بخش ۶ نتیجه این پژوهش به صورت خلاصه ارائه شده است.

۲. کارهای پیشین

شبکه‌های متشکل از تلفن‌های همراه زیرمجموعه بزرگی از اینترنت اشیا را تشکیل می‌دهند که با توجه به ظرفیت محاسباتی بالا لزوم ایجاد یک لایه دیگر شبکه برای کاهش بار محاسباتی دستگاه‌های پردازشی و کاهش تأخیر و صرفه‌جویی در مصرف

اشیا افزایش یافت و با انتقال بخشی از پردازش‌ها به مراکز داده در سطح مه میزان تأخیر و محدودیت‌های اینترنت اشیا کاهش یافت و بهبود یافت [۴]. با توجه به اینکه دستگاه‌های هوشمند سیار نقش بسزایی در دنیای وسیع اینترنت اشیا دارند، تکنولوژی‌های جدیدی از جمله محاسبات لبه سیار^۱ (MEC) و محاسبات ابری سیار^۲ (MCC) به وجود آمد [۵]. خصوصیت مشترک این تکنولوژی‌ها استفاده از قابلیت محاسبات ابری در لبه شبکه است. اصطلاح محاسبات لبه سیار ابتدا برای توصیف اجرای خدمات در لبه شبکه در سال ۲۰۱۳ تعریف شد، زمانی که آی بی ام و شبکه نوکیا زیرساختی را معرفی کردند که بتواند برنامه‌های کاربردی را در یک ایستگاه پایه سیار اجرا کند. از سال ۲۰۱۶، ETSI^۳ یک معماری مرجع تولید کرد که عناصر کاربردی آن را پشتیبانی از خدماتی مانند اجرای برنامه در لبه شبکه رادیویی معرفی کرده است [۶]. محاسبات لبه برای رفع چالش زمان پاسخ، محدودیت عمر باتری، صرفه‌جویی در هزینه پهنای باند، و همچنین ایمنی داده‌ها و حریم خصوصی به وجود آمد [۷]. علاوه بر این، مراکز پردازش و ذخیره‌سازی در لبه می‌توانند به صورت خودمختار عمل کنند و با یکدیگر همکاری کنند. برخلاف کنترل متمرکز منابع در MCC نحوه کنترل در معماری MEC به صورت سلسله‌مراتبی و متمرکز توزیع شده است [۸].

یک معماری افقی دیگر به نام پردازش مه^۴ (FC) در سطح سیستم برای شبکه‌ها ارائه شد که منابع و خدمات را توزیع می‌کند و محاسبه، ذخیره‌سازی و کنترل شبکه را قبل از رسیدن به ابر فراهم می‌کند. استفاده از تکنولوژی پردازش مه برای دستگاه‌های سیار خدمات سریع‌تر و با کیفیت بهتری نسبت به پردازش ابری ارائه می‌دهد. امکان پیاده‌سازی پردازش مه سیار برای اتصال دستگاه‌های هوشمند و ارائه خدمات به صورت مجازی^۵ (VMFC) وجود دارد که تمام سرویس‌های پردازشی و

6. Virtual Machine

7. Network Function Virtualization

8. Software Defined Networking

9. Node

1. Mobile Edge Computing (MEC)

2. Mobile Cloud Computing (MCC)

3. European Telecommunications Standards Institute (ETSI)

4. Fog Computing

5. Virtual Mobile Fog Computing (VMFC)

این معنی MEC یک محیط خدمات فناوری و قابلیت‌های محاسباتی ابری را در لبه شبکه سیار ارائه می‌دهد. زمان تأخیر کم، پهنای باند بالا و دسترسی به اطلاعات شبکه‌های رادیویی و آگاهی محلی از مزایای استفاده از خدمات ابر در لبه شبکه دستگاه‌های هوشمند است. یک مثال برنامه زمان‌بندی لبه است که متوسط تأخیر ترافیک در دستگاه را به حداقل می‌رساند [۱۷]. در یک تجزیه و تحلیل کمی از مصرف انرژی در یک سناریو که در آن ۲۵٪ از برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا نیاز به خدمات زمان واقعی و تأخیر کم دارند، نشان داده شد که میانگین هزینه انرژی در محاسبات مه با ۴۰/۴۸٪ کمتر از مدل پردازش ابری معمولی است [۱۸]. در یک کار توان پردازشی شبکه‌ای از حسگرهای بی‌سیم برای کاربردهای نظامی را با استفاده از محاسبات ابری و مه افزایش دادند و بر محدودیت‌ها و آسیب‌های موجود در برنامه‌ها با اجرای زمان بی‌درنگ غلبه کردند [۱۹]. یک نمونه کار دیگر، به ارائه مجموعه‌ای از برنامه‌ها پرداخته است که اجازه می‌دهد ماشین‌های مجازی برای ارائه خدمات به گره‌های مه دسترسی داشته باشند. با استفاده از این برنامه‌ها، ماشین‌های مجازی می‌توانند به اطلاعات محلی مانند آمار شبکه، داده حسگرها و... دسترسی پیدا کنند [۲۰]. تعدادی از محققان در پروژه‌ای تعدادی کلون^۴ برای چندین دستگاه هوشمند در محیط ابر ایجاد کردند و برنامه‌های قابل انتقال از دستگاه به سمت کلون منتقل شدند. بنابراین در صورتی که دستگاه خراب یا گم شود، نسخه مجازی آن وجود دارد. مزیت دیگر این طرح مقابله با محدودیت سخت‌افزاری دستگاه‌های هوشمند است [۲۱]. در پروژه‌ای امکان ادغام بستر شبکه ۵جی^۵ را با MEC اثبات کردند و نشان دادند محدوده‌های داخلی و خارجی که بدون استفاده بودند، قابل دسترسی هستند [۲۲]. کار دیگری در زمینه آنالیز داده‌های بزرگ انجام شد که از ادغام MCC و Hadoop^۶ استفاده کرد و با توجه به حجم داده‌های پردازشی این طرح محدودیت ترافیک و تأخیر را برای کار آن‌ها برطرف نکرد

پهنای باند و انرژی در اتصال به سرور ابری راه دور را نشان می‌دهد. برنامه‌های کاربردی تلفن همراه فعال در شبکه‌های اینترنت اشیا از جمله نظارت مراکز و خانه‌های هوشمند، انتقال داده‌های ترافیکی، انتقال داده‌های سلامت در شبکه‌های پزشکی، برنامه‌های واقعیت افزوده، پردازش داده‌های بزرگ^۱ در شهرهای هوشمند، یادگیری از طریق تلفن همراه و بازی‌های پیاده‌سازی شده با تخلیه بار محاسباتی و پردازشی در لایه مه باعث صرفه‌جویی در توان محاسباتی و پردازشی دستگاه و کاهش طول عمر باتری می‌شوند. واقعیت افزوده یک نمای فیزیکی زنده، مستقیم یا غیرمستقیم و معمولاً در تعامل با کاربر است که عناصری را پیرامون دنیای واقعی افراد به صورت بی‌درنگ^۲ اضافه می‌کند [۱۰]. برنامه‌های واقعیت افزوده اجرا شده در دستگاه‌های هوشمند نیازمند به سرعت بالای پردازش داده‌ها و تأخیر کم به منظور ارائه صحیح اطلاعات هستند [۱۱-۱۲].

پردازش ابری اولین بار در سال ۲۰۱۲ توسط شرکت سیسکو ارائه شد و به عنوان گسترش دهنده بستر محاسبات ابری که محاسبات، ذخیره‌سازی و خدمات شبکه را بین دستگاه‌های پایان یافته و سرورهای ابر سستی فراهم می‌کند، تعریف شد [۱۳]. سانگ چین و همکاران یک معماری را تعریف کردند که زمینه‌ساز پشتیبانی از تنوع فناوری‌های لبه LTE، Wi-Fi، Bluetooth، ZigBee و همچنین مجازی‌سازی شبکه و مهندسی ترافیک از طریق مجازی‌سازی عملکرد شبکه تعریف شده بود [۱۴]. مطالعات دیگری در زمینه چگونگی سازگاری پردازش لبه با نرم‌افزارهای مرتبط با اینترنت اشیا انجام شد [۱۵]. در این کار، گره‌های مه به عنوان دستگاه‌های لبه مانند واحدهای پردازش جاده‌ای در شبکه‌های وسایل نقلیه، برای خدمات مختلف ماشین به ماشین^۳ و سیستم‌های مدیریت دستگاه‌های ماشین به ماشین توسعه داده شدند. این روش فقط برای محدوده محلی کار می‌کرد و جنبه‌های دیگر مانند مهاجرت برنامه، قابلیت همکاری را در نظر نمی‌گرفت [۱۶]. با توجه به

4. Clone

5. 5G

۶. هادوپ یک چارچوب نرم‌افزاری منبع باز است که پردازش توزیع شده داده‌های بزرگ را روی خوشه‌هایی از سرورها ممکن می‌سازد.

1. Big Data

2. Real Time

3. Machin to Machin(M2M)

داشت. در [۲۸] مشکل تأخیر تا حدود زیادی حل شده است اما در صورت افزایش بار ترافیکی در محدوده یک ایستگاه پایه دچار محدودیت ترافیکی خواهیم بود. در [۲۹]، یک راه حل مؤثر برای کاهش زمان انتقال از کاربران به ابرهای از راه دور با استفاده از محیط لبه ارائه شد. در این کار برای صرفه‌جویی در حافظه و پردازش در یک برنامه آموزش الکترونیک مبتنی بر واقعیت افزوده داده‌ها و اشیاء کاملاً به محیط لبه منتقل شدند. عملکرد کار ارائه‌شده نشان داد که روش پیشنهادی می‌تواند عملکرد ذخیره‌سازی در حافظه را به‌طور مؤثر بهبود بخشد. در [۳۰]، گره‌های لبه به‌عنوان واحدهای جاده‌ای در شبکه‌های وسیله نقلیه برای ارائه خدمات IoT به‌وسیله OpenM2M به‌منظور بهبود تأخیر و ترافیک در شبکه توسعه داده شد. در [۳۱]، نویسندگان مسئله پارتیشن‌بندی محاسبات چندکاربره^۱ (MCPP) را برای به حداقل رساندن میانگین زمان بندی و زمان تأخیر مطالعه کردند. آن‌ها از یک روش اکتشافی آفلاین یعنی جست‌وجو در مدل^۲ (SAPRL) برای حل مشکل در برنامه‌های حساس به تأخیر استفاده کردند.

کارهای انجام‌شده در محیط MEC امکان پیاده‌سازی تمام برنامه‌های واقعیت افزوده مبتنی بر تصویر دوبعدی، سه‌بعدی تشخیص لبه، تشخیص حسگر پرکاربرد در شبکه‌های سلامت و آموزش و معماری را ندارد و بیشتر برای برنامه‌های واقعیت افزوده مبتنی بر مکان مناسب است. این ویژگی به‌دلیل تشخیص محدوده مکانی دستگاه‌های تلفن همراه توسط واحدهای کنترل و ایستگاه‌های پایه اپراتورها امکان‌پذیر است. در واقع محاسبات مه روشی برای پردازش اطلاعات، از جایی که تولید می‌شوند به جایی که ذخیره می‌شوند، است. محاسبات لبه فقط به اطلاعات پردازش‌شده نزدیک به جایی که ایجاد شده، منسوب می‌شود. محاسبات مه نه تنها محاسبات لبه، بلکه اتصالات شبکه مورد نیاز برای آوردن آن داده‌ها از لبه به نقطه انتهایی آن را پوشش می‌دهد. استفاده از محاسبات سیار به‌خصوص در فضای مه و لبه شبکه مزایای زیادی را برای کاربران فراهم می‌کنند و باعث

[۲۳]. کار دیگری در زمینه سلامت هوشمند انجام شد که داده‌های حسگرها را جمع‌آوری کرده و برای پردازش و ایجاد هشدار در موقعیت اضطراری به تلفن همراه منتقل می‌کند. در این کار از هیچ کدام از سرویس‌های MCC و MFC استفاده نشده است [۲۴]. در یک پروژه یک معماری ارتباط هوشمند برای شبکه‌های حمل‌ونقل هوایی بدون سرنشین ارائه دادند که بر مبنای یک سرور مه سیار پیاده‌سازی شد. معماری پیشنهادی آن‌ها قادر است ارتباطات طولانی مدت را با افزایش قابلیت اطمینان شبکه و پایداری حتی در صورت خرابی ارائه دهد. علاوه بر این قادر است علیه حملات Sybil، Wormhole و DDoS نیز غلبه کند [۲۵]. یک برنامه واقعیت افزوده مبتنی بر مکان در محیط MEC پیاده‌سازی شد که در آن بر اساس ردیابی و تشخیص مکان کاربر در لبه یک شیء متناسب با آن بارگذاری می‌شود. استفاده از این معماری در کاهش بار محاسباتی و انرژی مصرفی در تلفن همراه تأثیر زیادی داشت [۲۶]. برنامه دیگری با موضوع آموزش دیجیتال از طریق تکنولوژی واقعیت افزوده پیاده‌سازی شد که در آن با تشخیص یک تصویر در محیط شیء سه‌بعدی استاتیک آن نمایش داده می‌شود. برای کاهش بار محاسباتی و انرژی مصرفی در این برنامه از سرور ابر استفاده شد. برنامه‌های سنگین پردازشی به ابر منتقل شدند و مراحل سبک‌تر تشخیص در تلفن همراه انجام شد. ارزیابی این کار نرخ باگذاری فریم‌ها را در برنامه واقعیت افزوده بهبود بخشید [۲۷]. در پیاده‌سازی دیگر با موضوع واقعیت افزوده بر مبنای پردازش ابری، یک عکس از ستون‌های کتاب گرفته شد و ویژگی‌های استخراج‌شده در تلفن همراه به ابر ارسال شد و در محیط ابری با توجه به اطلاعات گرفته‌شده جست‌وجویی در میان رکوردهای پایگاه داده انجام شد و اطلاعات کتاب‌های همانند آن جمع‌آوری شده و برگردانده می‌شود [۲۸]. در کار [۲۷] و [۲۸] استفاده از پردازش ابری باعث کاهش بار محاسباتی و انرژی مصرفی تلفن همراه شد اما مشکل تأخیر زیاد در ابر و دور از دسترس بودن آن، محدودیت زیادی را در استفاده از معماری MCC برای برنامه‌های حساس به تأخیر و بی‌درنگ واقعیت افزوده داشت که این تأخیر خود افزایش انرژی مصرفی را در تلفن همراه به دنبال

1. Multi-user Computation Partitioning Problem

2. Performance-Resource-Load

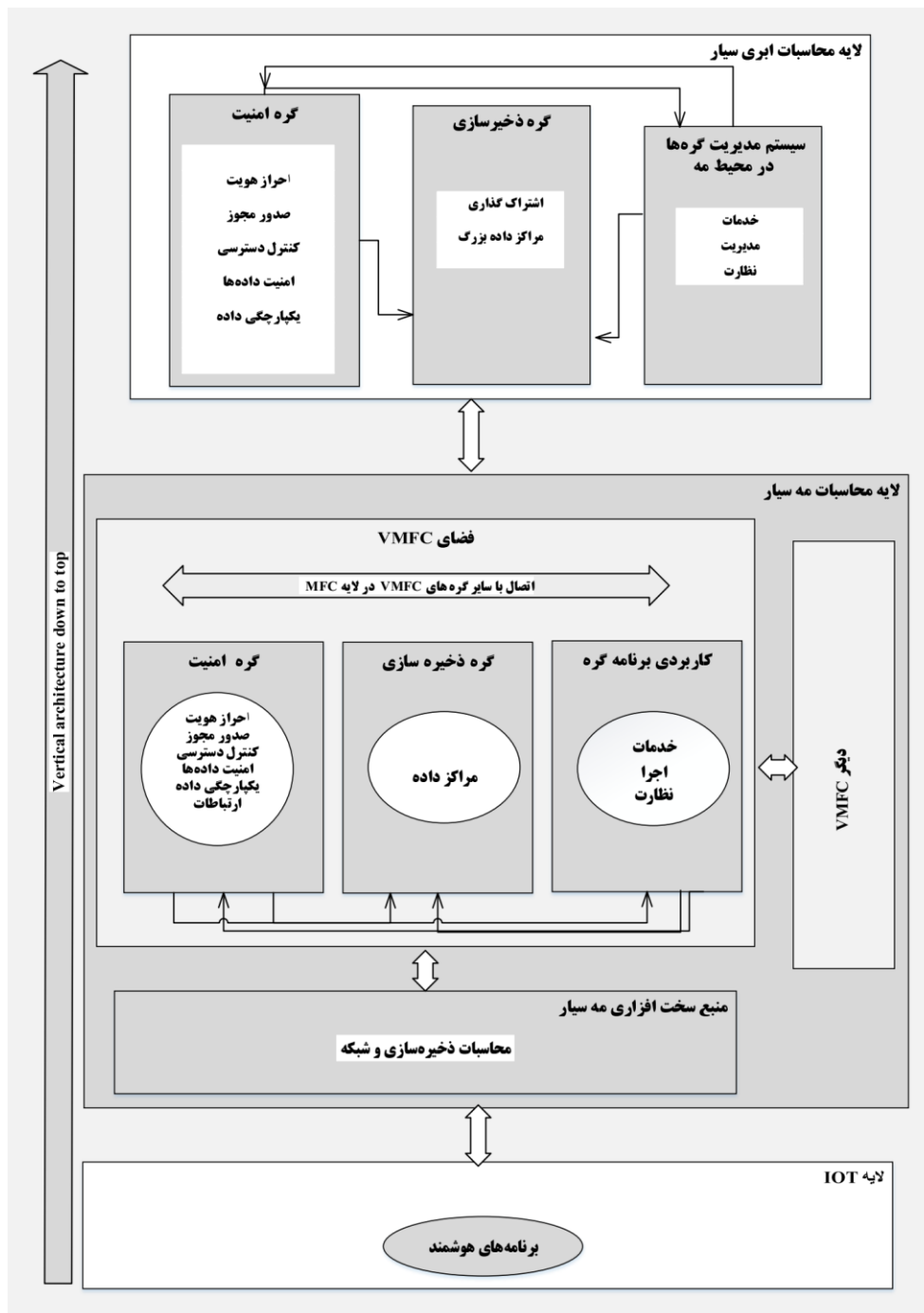
استفاده از معماری MEC بعضی از مشکلات معماری MCC از جمله تأخیر را حل کرده است. اما به دلیل استفاده تعداد زیادی دستگاه تلفن همراه هنگام حضور در یک منطقه از ایستگاه‌های سرویس‌دهی مشکل تأخیر را در صورت ازدحام دارد. یکی دیگر از مشکلات استفاده از MEC عدم دسترسی راحت به سرورهای اپراتورهای شبکه‌های تلفن همراه است. بارگذاری برنامه‌های کاربردی بر روی سرورهای اپراتورها به سادگی امکان‌پذیر نیست و نیاز به مجوزهای خاص دارد. در این مقاله یکی از اهداف ما ارائه یک روش با دسترسی آسان و هزینه کمتر برای کاربران و برنامه‌نویسان است. در ادامه کار به ارائه یک روش مبتنی بر MEC و پردازش مه با دسترسی آسان می‌پردازیم و بخشی از یک برنامه کاربردی حساس به تأخیر با استفاده از تکنولوژی واقعیت افزوده را بر مبنای این معماری پیاده‌سازی می‌کنیم. مدل VMFC با ایجاد یک زیرساخت سلسله‌مراتبی، تجزیه و تحلیل اطلاعات محلی را تسهیل می‌کند و هماهنگی و تجزیه و تحلیل سراسری را به ابر منتقل می‌کند.

بهبود در هزینه اجرای برنامه‌ها و صرفه‌جویی در منابع محاسباتی می‌شوند [۳۲]. به‌طور کلی استفاده از محاسبات سیار یک پیشرفت طبیعی در تکامل ایستگاه‌های پایه تلفن همراه و همگرایی فناوری اطلاعات و شبکه‌های مخابراتی است. ازدحام در اینترنت اشیاء و محدودیت‌های خدمات ابری به ایجاد محاسبات لبه کمک کرده است، که در آن پردازش داده‌ها به‌صورت جزئی در لبه شبکه اتفاق می‌افتد، نه کاملاً در ابر. محاسبات لبه می‌تواند چالش‌های تأخیر، عمر باتری دستگاه‌های همراه، هزینه‌های پهنای باند، امنیت و حریم خصوصی را حل کند [۳۳].

جدول (۱) مقایسه‌ای از سه معماری بحث‌شده را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد. کارهای انجام‌شده از معماری MCC برای ارائه سرویس‌های بهتر در تلفن‌های همراه استفاده کرده‌اند که به دلیل تأخیر بالای لایه ابر و دسترسی سخت به آن محدودیت‌هایی دارد که برای اجرای برنامه‌های حساس به تأخیر مناسب نیستند. در بسیاری از پروژه‌های شبیه‌سازی‌شده در دستگاه‌های هوشمند، از سرویس پشتیبان مه استفاده نشده است.

جدول (۱): مقایسه سه معماری MCC، MEC و VMFC

VMFC	MEC	MCC	خصوصیات
زیاد	متوسط و محدود	زیاد	قابلیت توسعه
میان دستگاه‌ها و ابر	لبه دستگاه‌های تلفن همراه (ایستگاه پایه)	سطح بالاتر از دستگاه‌ها و دور از دسترس	مکان قرارگیری
بیشتر از ۳ سطح	۳ سطح	۲ سطح	معماری سلسله‌مراتبی
مراکز داده کوچک	مراکز داده کوچک (Mini Data Center)	مراکز داده بسیار بزرگ (Large Data Center)	سخت‌افزار سرور
سلسله‌مراتبی غیر توزیع‌شده توزیع‌شده	سلسله‌مراتبی متمرکز توزیع‌شده	مرکزی	کنترل سیستم‌ها
کم	متوسط	زیاد	میزان تأخیر
تعداد متوسط دستگاه و شبکه	تعداد متوسط دستگاه و شبکه	تعداد زیادی دستگاه و شبکه	میزان استفاده از آن
تمام شبکه‌های اینترنت	ایستگاه‌های پایه و اپراتورها	تمام شبکه‌های اینترنت	نحوه اتصال
وجود دارد	وجود ندارد	وجود ندارد	تعامل و همکاری بین گره‌ها
کم	کم	متوسط	انرژی مصرفی توسط دستگاه‌ها
کم (قابلیت مجازی‌سازی)	متوسط	متوسط (قابلیت مجازی‌سازی)	هزینه پیاده‌سازی
نزدیک و دسترسی آسان	نزدیک و آسان با شرط حضور در محدوده سرویس‌دهی و وجود سرویس‌دهی	در مکان دور و در صورت وجود بار ترافیکی دسترسی سخت	دسترسی کاربران
آسان با ثبت نام	آسان در صورت داشتن مجوز برای دسترسی به سرورهای مستقر در ایستگاه پایه مجوز	تقریباً آسان با ثبت نام یا هزینه	دسترسی برنامه‌نویسان برای توسعه انواع برنامه‌ها
مناسب برای اکثر برنامه‌های واقعیت افزوده تأخیر بسیار ناچیز	عدم پشتیبانی از پیاده‌سازی انواع برنامه‌های واقعیت افزوده در صورت ازدحام تأخیر متوسط	کاهش بار محاسباتی - تأخیر زیاد	پیاده‌سازی برنامه حساس به تأخیر مانند واقعیت افزوده



شکل (۱): مدل پیشنهادی ارائه شده

۳. تعریف مسئله و روش پیشنهادی

توجهی بهبود یابد [۳۴]. سرورهای متمرکز ابر به همراه گره های مه پردازش برنامه ها را انجام می دهند، اما برای اجرای سرویس های مه ضروری نیستند و گره های مه می توانند به صورت جداگانه پردازش را کامل کنند و به کاربر پاسخ دهند [۳۵]. از این لایه به عنوان یک لایه پشتیبان میان لایه ابر و برنامه

این بخش به تعریف مسئله و مدل پیشنهادی می پردازد. کارهای محاسباتی می توانند به صورت محلی در دستگاه اجرا شوند یا در لایه مه بارگذاری شوند. با بارگذاری کارهای پردازشی برای اجرا در لایه شبکه، سرعت فرایند پردازش می تواند به طور قابل

معمولاً با استفاده از چارچوبی مانند NET و JAVA پیاده‌سازی می‌شوند که فرایند انتقال کد را ساده‌تر می‌کند.

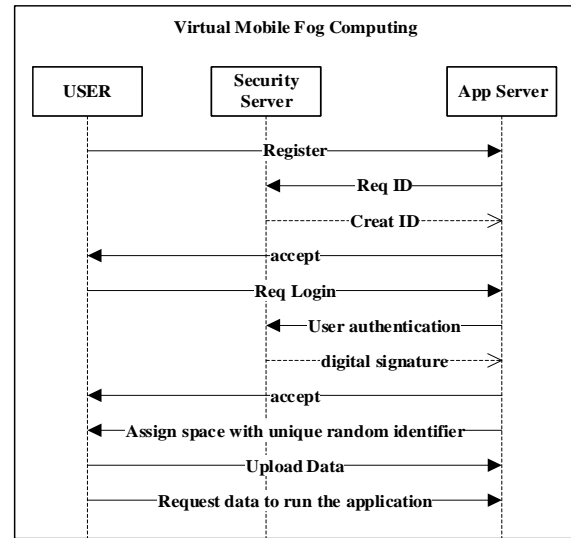
۴. پیاده‌سازی معماری

در این قسمت، نحوه پیاده‌سازی و اجرای روش پیشنهادی را ارائه می‌کنیم. در این روش ما از دو گره مه برای احراز هویت و پردازش و اجرای بخشی از برنامه استفاده کردیم. لایه مه شامل دو گره مجزاست که به ترتیب اولین گره برای امنیت و دومین برای ذخیره و پردازش برنامه کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دو گره با هم در ارتباط هستند. دو ماشین مجازی برای پیاده‌سازی و پیکربندی این دو گره استفاده می‌شوند. گره ذخیره‌سازی داده به صورت مجزا در نظر گرفته نشده است. هرکدام از گره‌های پیاده‌سازی شده برای پردازش، شامل یک پایگاه داده برای ذخیره‌سازی داده‌های مورد نیاز و انتقالی هستند که با هم در ارتباط هستند. برنامه کاربردی با استفاده از چارچوب JAVA پیاده‌سازی و اجرا شده است. شکل (۲) نحوه پیاده‌سازی برنامه کاربردی مبتنی بر روش پیشنهادی ارائه شده در بخش ۳ را با استفاده از دو گره برنامه کاربردی و امنیت نشان می‌دهد. پایگاه داده گره جداگانه‌ای نیست و در داخل هر گره وجود دارد. هر کاربر در سرور مورد نیاز مشخصات خود را ثبت کرده و پروفایل ایجاد می‌کند. کاربر مقداری فضا را طبق برنامه اجرایی درخواست می‌دهد. پروفایل کاربر به چند بخش تقسیم می‌شود و برای هر بخش مقداری از فضای که به کاربر تعلق گرفته، اختصاص داده می‌شود. هر بخش یک شناسه منحصر به فرد دارد که به صورت تصادفی به آن اختصاص می‌یابد. برای ورود جهت اجرای برنامه‌ی بارگذاری شده در فضای مجازی آدرس پروفایل کاربر به همراه شناسه هر بخش ایجاد شده در یک قطعه کد برای هدایت برنامه استفاده می‌شود. اطلاعات وارد شده در گره پردازش و ذخیره برای ورود به پروفایل برای ثبت و احراز به گره امنیت داده می‌شود. احراز هویت کاربر اولین مرحله ورود به سرور مه برای انجام پردازش‌هاست. هنگام ثبت اطلاعات کاربر یک شناسه نرم‌افزاری برای او ایجاد می‌شود.

کاربرد استفاده می‌شود. ساختار داخلی این لایه برای دسترسی سریع‌تر کاربران برای دریافت سرویس‌های مورد نیاز به کار می‌رود. ETSI یک چهارچوب مرجع برای سرورهای MEC و قالب‌ها و نرم‌افزارهای آن ارائه کرده است [۳۶]. در این مقاله با مطالعه و بررسی این معماری یک معماری سلسله‌مراتبی مبتنی بر MFC ارائه دادیم که در شکل (۱) نشان داده شده است. در این معماری، شبکه‌هایی از دستگاه‌های هوشمند برای ارائه سرویس‌های تعریف شده در شبکه متصل به آن و در سطح وسیع‌تر اینترنت اشیاء فعال هستند. هر شبکه سیار در سطح بالاتر به مجموعه‌ای متصل است که شامل یک یا چند گره مه است و نمونه عملیات قابل انجام در هر گره مه در این معماری، مدیریت ارتباطات شبکه، پردازش، سرعت، ذخیره‌سازی و کنترل است. گره‌ها می‌توانند با یکدیگر از طریق انتقال سیمی یا بی‌سیم ارتباط برقرار کنند. بارگذاری برنامه‌های کاربردی در گره مه به دو صورت بارگذاری کل برنامه‌های اجرایی و یا بخشی از آن‌ها قابل انجام است [۳۷].

لایه MFC شامل چندین لایه VMFC است که هرکدام بنا به کاربرد، از چندین گره تشکیل شده است. گره‌ها برای خدمات امنیت، ذخیره‌سازی داده، پردازش و مدیریت برنامه‌های کاربردی با هم در ارتباط هستند. هرکدام از گره‌ها به‌طور جداگانه مسئول ارائه سرویس‌های تعیین شده در سطح خود و در سطح بالاترند. در صورت نیاز هر لایه VMFC با لایه‌های مجاور خود همکاری می‌کند. جمع‌آوری داده‌های بزرگ در سطح بالاتر در لایه MCC انجام می‌شود. این لایه مسئول مدیریت و ارائه سرویس به لایه سطح پایین‌تر خود یعنی MFC می‌باشد. علاوه بر این امکان ثبت، احراز و دسترسی امن گره‌های VMFC برای برقراری ارتباط با یکدیگر در صورت لزوم بر عهده این لایه است. ذخیره داده‌های بزرگ و مراکز داده در این لایه قرار دارد. ارتباط لایه MFC و لایه MCC در بستر اینترنت انجام می‌شود. برنامه‌های کاربردی دستگاه‌های هوشمند از طریق تکنولوژی‌های فعال روز از جمله WLAN, ZigBee, Bluetooth, 5G, 4G به لایه مه برای دریافت سرویس، ذخیره‌سازی در محیطی امن متصل می‌شوند. برنامه‌های کاربردی

کار می‌رود و نتیجه پردازش تصویری که پاسخ داده می‌شود با نشانگر کاربر مقایسه شده و تصویر سه‌بعدی متناسب با آن نمایش داده می‌شود. تصویر سه‌بعدی هر نشانگر کاربر در هر جایی که نشانگر وجود دارد ظاهر می‌شود. نشانگرهای استفاده‌شده در این طرح از نوع نشانگر تصویری هستند. نشانگر تصویری میان نشانگرهای مبتنی بر شناسه و تکنولوژی بدون نشانگر است. در این تکنولوژی می‌توان با پرینت گرفتن از هر تصویر آن را به‌عنوان هدف در نظر گرفت که باید یک مرز تیره‌رنگ در مقابل پس‌زمینه روشن کار در نظر گرفت. لزوماً مرز تصویر رنگ سیاه نیست بلکه هر رنگ تیره‌ای می‌تواند باشد. توسعه‌دهندگان با توجه به نیازهای برنامه می‌توانند از تصاویر استفاده کنند و از آن‌ها برای ردیابی در برنامه‌های مبتنی بر نشانگر استفاده کنند. یک مدل با وضوح بالا یک **high-poly-model** و در مقابل مدل با وضوح کمتر **low-poly-model** است. این دسته‌بندی‌ها بسته به دستگاه و نحوه استفاده از مدل‌ها بستگی دارد. در برنامه‌های بی‌درنگ معمولاً از مدل‌ها با وضوح کمتر یعنی **low-poly-model** برای افزایش کارایی برنامه و اجرای سریع‌تر استفاده می‌شود [۳۹]. پلی‌گون با تعدادی از چندضلعی‌ها در یک مدل سه‌بعدی تعریف شده است. معمولاً این واحد با تعدادی از مثلث‌ها نشان داده می‌شود. وضوح مدل‌های اجراشده بستگی به تعداد مثلث‌های تشکیل‌شده روی مدل سه‌بعدی دارد. پردازش بخشی از برنامه در گره برنامه کاربردی به این صورت انجام می‌شود که کاربر یک نمونه از نشانگر را به‌همراه مدل سه‌بعدی مورد نظر بارگذاری می‌کند. فایل **xml** مطابق هر نشانگر با شیء سه‌بعدی و خصوصیات آن ذخیره شده و بارگذاری می‌شود. در هر بار اجرای برنامه نشانگری که دوربین تلفن همراه و برنامه کاربردی آن را شناسایی می‌کند به گره مه ارسال شده و با نشانگرهای موجود در گره پردازش مقایسه شده و در صورت تطابق مدل سه‌بعدی متناظر با آن نمایش داده می‌شود. مدل‌های سه‌بعدی در تلفن همراه ذخیره نمی‌شوند تنها هنگام مطابقت و اجرا از گره بارگذاری شده و نمایش داده می‌شوند. خصوصیات شیء سه‌بعدی در یک فایل **xml** نوشته شده و در پروفایل شخص بارگذاری می‌شود.



شکل (۲): جریان ثبت و انتقال داده در روش پیشنهادی

شناسه نرم‌افزار یک کلید منحصر به فرد برای شناسایی هر نرم‌افزار است. تمام درخواست‌ها با این کلید منحصر به فرد امضا می‌شوند و بررسی امضا با این کلید نیز انجام می‌شود. این فرایند همانند فرایند دریافت توکن در محیط لبه سیار است [۳۸]. امضا در سربرگ احراز هویت قرار می‌گیرد. این سربرگ دارای خصوصیت برچسب زمان^۱ و شناسایی درخواست است که بدین ترتیب از حملات پخش و انتشار^۲ جلوگیری می‌کند. اگر شناسه شخص تغییر کند امضا نیز تغییر می‌کند. این امضا باید در بخشی از کد اندروید برنامه نوشته شود که هنگام بارگذاری داده‌های برنامه و تابع‌های مورد نیاز برای اجرا در مه جهت احراز و ثبت کدهای کاربر در پایگاه داده پروفایل او به کار می‌روند. کاربر در هر مکانی با اتصال به اینترنت با استفاده از مرورگر می‌تواند وارد پروفایل شخصی خود شده و داده‌های خود را مشاهده و به‌روزرسانی کند.

برنامه کاربردی یک برنامه واقعت افزوده مبتنی بر تصویر برای اجرای اشیاء سه‌بعدی پویاست. هر شیء سه‌بعدی به یک نشانگر وابسته است به این معنی که با اسکن نشانگر، آن شیء سه‌بعدی نمایش داده می‌شود. در این طرح، گره مه دوم برای ذخیره و پردازش تصویر جهت اجرای برنامه واقعت افزوده به

1. Timestamp
2. Replay attacks

۵. بحث و ارزیابی

در این بخش ارزیابی روش پیاده‌سازی شده در دو حالت استفاده از تلفن همراه و اجرای محلی و استفاده از روش VMFC پیشنهادی را ارائه می‌دهیم. دو پارامتر نرخ اجرای فریم در هر مدل سه‌بعدی را با توجه به تفاوت حجم بررسی می‌کنیم، سپس تأخیر زمانی بارگذاری داده از VMFC و یک سرویس ابر آماده را مقایسه می‌کنیم. سرور ابر ذخیره‌سازی Junao را برای بارگذاری داده استفاده کردیم. Junao یک مرورگر واقعیت افزوده است که به کاربران اجازه ایجاد و اجرای برنامه‌های واقعیت افزوده را از طریق کانال‌های متعدد فراهم کرده است. برای استفاده از آن نیاز به ایجاد کانال در این مرورگر است که بتوان برنامه‌های واقعیت افزوده ایجاد شده را که به صورت مجازی به هر کانال تعلق می‌گیرد، بارگذاری کرد [۴۰].

مدل‌های سه‌بعدی پویا برای اجرا به سرعت پردازش زیادی نیاز دارند و همچنین فضای ذخیره‌سازی این نوع داده‌ها در سطح وسیع که تعداد و حجم داده‌ها افزایش یابد، بسیار زیاد است و در تلفن همراه با محدودیت روبه‌روست. این مدل‌ها که قابلیت حرکت و انیمیشن دارند از چندین لایه تشکیل شده‌اند که هرکدام یک حرکت را شبیه‌سازی می‌کنند. به هرکدام از این لایه‌ها به اصطلاح یک فریم یا پلی‌گون گفته می‌شود. اجرای پشت‌سرهم این پلی‌گون‌ها برای به نمایش درآمدن یک حرکت خاص که در شیء پیاده‌سازی شده، بسیار ضروری است. از طرفی، برنامه‌های واقعیت افزوده از نوع برنامه‌های بی‌درنگ هستند و نرخ اجرای سریع یک رویداد از نکات کلیدی در این زمینه است. در این برنامه، از شش شیء سه‌بعدی با پسوندهای ms3d, FBX, .md2, .mm3d, با حجم‌های مختلف از مقدار ۱۸۰ تا ۴۵۰ کیلوبایت^۱ (KB) استفاده می‌شود. همان‌طور که ذکر شد، وضوح مدل‌ها هنگام اجرا به تعداد پلی‌گون‌های تشکیل شده و سرعت اجرای آن‌ها بستگی دارد. هر ۸۰ کیلوبایت حدوداً شامل ۱۰۰۰۰ پلی‌گون در اینجا مثلث است. اجرای این جریان نیاز به پهنای باند ۲۹ مگابایت بر ثانیه (MB/s) دارد. نرخ

اجرای مدل‌های سه‌بعدی با واحد fps اندازه‌گیری می‌شوند. این واحد اوج پلی‌گون‌های منتقل شده از حافظه به صفحه نمایش را تعریف می‌کند. انتقال حداقل ۲۰ فریم در ثانیه هنگام اجرا منطقی است و اگر برنامه‌ای کمتر از ۲۰ فریم در ثانیه را بارگذاری کند، یعنی برنامه به صورت هموار و سریع اجرا نشده است [۴۱].

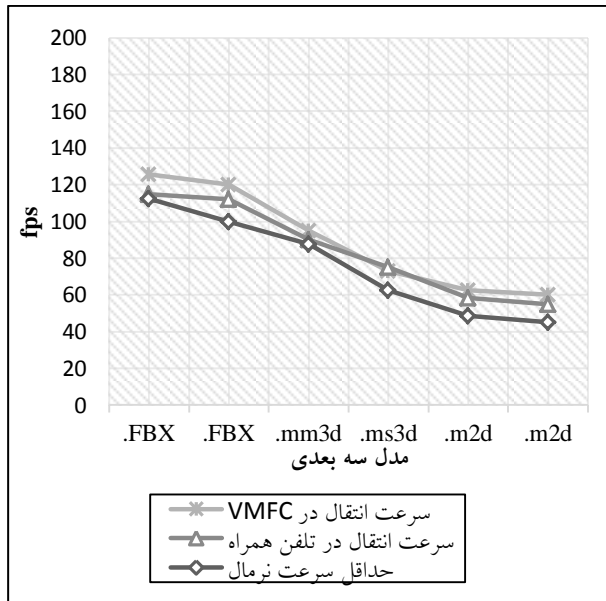
بارگذاری هرکدام از مدل‌ها در حافظه تلفن همراه و انتقال به صفحه نمایش با توجه به حجم مدل، مقداری از انرژی دستگاه را مصرف می‌کند. بارگذاری داده‌ها در محیط ES File Explorer انجام می‌شود و داده‌ها از این برنامه به برنامه اصلی برای نمایش بارگذاری می‌شوند. برای مقایسه تأخیر زمانی اجرای برنامه در صورت استفاده از سرویس ابر و سرویس VMFC از رابطه (۱) استفاده می‌کنیم [۴۲]:

$$T = \frac{R}{S} * (T_r + T_h + T_s) \quad [41] (1)$$

که در آن، R نسبت درخواست پیش‌بینی شده، S تعداد درخواست‌هایی که ماشین همزمان پاسخگوست، T_r زمان انتقال داده از تلفن همراه کاربر به ماشین مجازی، T_h زمان پاسخ به درخواست در سمت ماشین مجازی و T_s زمان انتقال داده از ماشین مجازی به تلفن همراه کاربر است.

در این معادله، مقدار R را برای هر دو سرویس مورد استفاده یکسان و ثابت در نظر گرفتیم. زمان انتقال داده بستگی به حجم داده و شرایط شبکه مورد استفاده دارد که معمولاً شبکه‌های تلفن همراه برای داده‌ها با تعداد زیاد ضعیف هستند. از زمان انتظار پاسخ کاربر در این فرمول بنا بر عدم اهمیت آن در تخصیص منبع صرف نظر شده است. اجرای برنامه برای شش داده مختلف با حجم متفاوت در دو بستر WLAN و اینترنت تلفن همراه نسل ۴ آزمایش شد.

اجرای برنامه در سه بخش مبتنی بر سرور ابر آماده، تلفن همراه و VMFC انجام شد و پارامترهای ارزیابی بررسی و تحلیل شدند. برای مقایسه نرخ انتقال فریم مدل‌های سه‌بعدی در VMFC از اینترنت مخابرات استفاده شد. هنگامی که دوربین

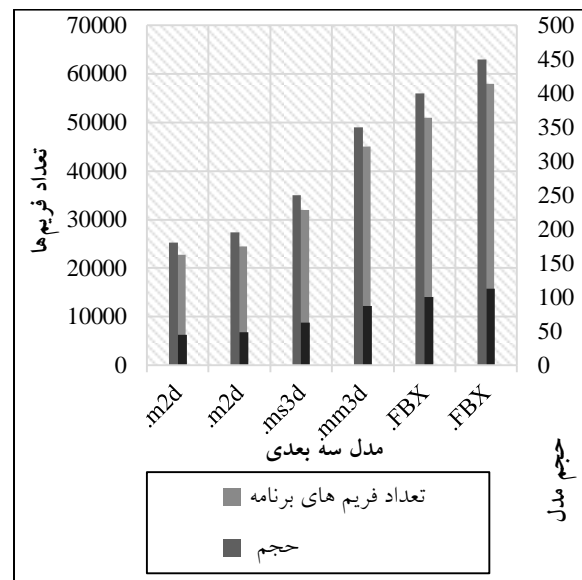


شکل (۴): مقایسه سرعت انتقال فریم‌ها در دو حالت بارگذاری از تلفن همراه و بارگذاری از VMFC

مدل FBX. حجم بیشتری را نسبت به مدل‌های دیگر دارد و حافظه مصرفی آن نیز به همین ترتیب بیشتر است. سرعت انتقال فریم در این مدل و مدل‌های پر حجم تر نسبت به بارگذاری در تلفن همراه بیشتر است. بارگذاری مدل‌های سه بعدی در VMFC در این برنامه حدود ۱ گیگابایت در حافظه مصرفی تلفن همراه صرفه جویی کرده است. انتقال داده‌ها از تلفن همراه به سرور ابر و VMFC در دو شبکه ارتباطی اینترنت بررسی شد.

در پژوهش حاضر برای مقایسه مقادیر سرعت انتقال فریم‌ها در اجرای برنامه در تلفن همراه و سرعت انتقال بعد از استفاده از VMFC از تحلیل t زوجی پس و پیش از استفاده از VMFC استفاده شد تا مشخص گردد که آیا تغییری در میزان سرعت انتقال فریم‌ها ایجاد شده است. جدول (۲) جزئیات این بررسی آماری را نشان می‌دهد. همان گونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، میزان سرعت انتقال فریم‌ها در پیش از استفاده از VMFC، ۸۴/۲۵۰ بوده و پس از استفاده از VMFC به ۸۹/۳۳۳ افزایش یافته است و این افزایش از نظر آماری نیز با مقدار ($p=0.032$) معنادار می‌باشد.

تلفن همراه یک نشانگر را تشخیص می‌دهد و پردازش می‌کند، سرعت و تعداد انتقال پلی‌گون‌های مدل سه بعدی متناظر با نشانگر در حداقل حالت نرمال در شکل (۳) نشان داده شده است. این مقدار برای مدل‌های سه بعدی استفاده شده در برنامه محاسبه شده است. نرخ انتقال فریم به صفحه نمایش از تلفن همراه و همچنین از VMFC به صفحه نمایش در مقایسه با حداقل سرعت نرمال در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به حجم مدل‌های استفاده شده، برنامه تعدادی پلی‌گون برای پردازش روی مدل در نظر گرفته می‌شود و آن‌ها را برای نمایش منتقل می‌کند. حداقل سرعت برای اجرا و نمایش صحیح مدل سه بعدی و حرکات پویای آن ۲۰ فریم در ثانیه در نظر گرفته شده است. سرعت انتقال فریم‌های پردازش شده در برنامه در حالتی که مدل از حافظه تلفن همراه بارگذاری می‌شود، برای مدل‌های کم حجم مناسب است و تقریباً بر سرعت انتقال از VMFC به حافظه موقت تلفن همراه منطبق است. اما در حالتی که حجم مدل بیشتر باشد و همچنین تعداد مدل‌ها بیشتر شود، سرعت انتقال از VMFC نسبت به تلفن همراه بیشتر شده و کارایی بهتری ارائه می‌دهد.



شکل (۵): حجم و تعداد فریم‌ها و سرعت نرمال بارگذاری شده ۷ شیء در برنامه

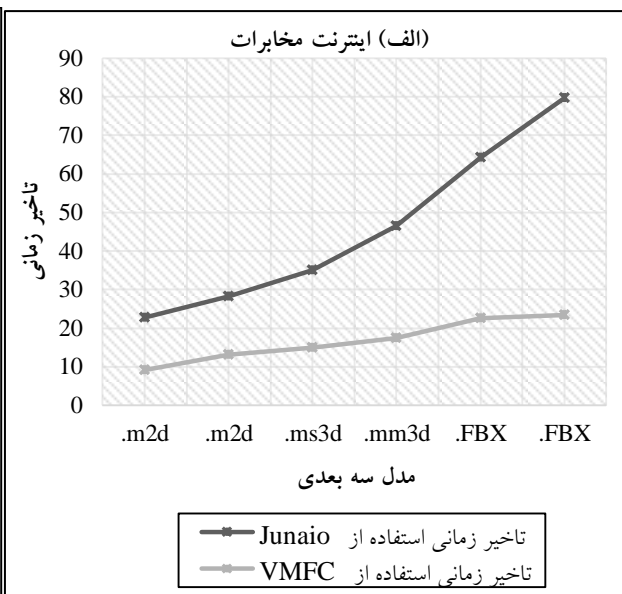
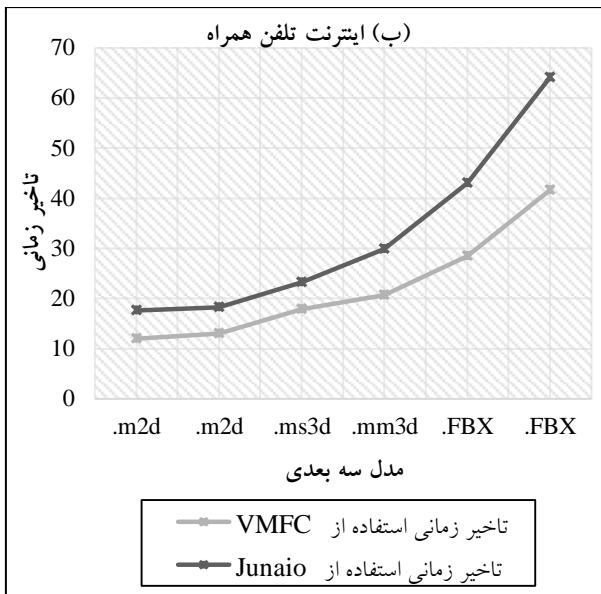
سرور ابر نشان می‌دهد. تفاوت استفاده از شبکه پرسرعت را در ارائه بهینه سرویس نشان می‌دهد. همچنین تأخیر زمانی در انتقال داده‌های کم‌حجم از جمله M2D، بسیار پایین و مناسب است. که این مقدار در VMFC نسبت به Junaio بهینه‌تر است. به‌علاوه اینکه سرویس Junaio در هر بار اعتبارسنجی و ارسال خواست از تلفن همراه و دریافت لینک پاسخ به درخواست جدید حدود ۵ دقیقه زمان می‌برد. بنابراین در استفاده از هر دو بستر میانگین تأخیر زمانی Junaio بسیار بیشتر از VMFC است. برای مقایسه تأخیر زمانی در انتقال با اینترنت مخابرات در اجرای برنامه در سرور Junaio و تأخیر زمانی بعد از استفاده از VMFC نیز از تحلیل t زوجی پس از استفاده از VMFC و پیش از استفاده از آن و در Junaio استفاده شد تا مشخص گردد آیا تغییری در میزان تأخیر زمانی ایجاد شده است یا خیر. جدول (۳) و (۴) جزئیات این بررسی آماری را نشان می‌دهد.

تفاوت حداکثر تأخیر در VMFC حدود ۱۸ ثانیه است که این جدول (۳) نشان می‌دهد که تأخیر زمانی در استفاده از Junaio ۲۹/۳۱۶ و پس از استفاده از VMFC به ۱۶/۷۷۰ کاهش یافته است.

جدول (۲): آزمون t زوجی برای بررسی تفاوت سرعت انتقال پیش و پس از استفاده از VMFC

متغیر	مرحله	میانگین	انحراف استاندارد	t	p-value
سرعت	بعد از استفاده از VMFC	۸۹/۳۳۳	۲۸/۷۳۲	۲/۹۴۸	۰/۰۳۲
	در تلفن همراه و بدون VMFC	۸۴/۲۵۰	۲۵/۸۹۵		

شکل‌های (۵ الف و ب) به ترتیب هزینه زمانی انتقال داده را در دو شبکه مخابرات و اینترنت تلفن همراه بر اساس رابطه (۱) نشان می‌دهد. حداکثر تأخیر زمانی در انتقال داده‌های پرحجم از جمله FBX، که در Junaio اتفاق افتاده، حدود ۵۶ ثانیه است که در مقایسه با حداکثر تأخیر در شبکه اینترنت همراه حدود ۱۰ ثانیه سریع‌تر عمل می‌کند. این مقدار در صورت افزایش درخواست‌ها و انتقال داده با حجم زیاد قابل توجه است. حداکثر تأخیر در معماری مطرح‌شده در استفاده از اینترنت همراه اتفاق افتاده است که در مقایسه با حداکثر تأخیر در Junaio در همین بستر حدود ۲۳ ثانیه کمتر است. این مقدار عملکرد بهتر استفاده از VMFC را نسبت به



شکل (۵): الف. تأخیر زمانی انتقال داده در اینترنت مخابرات؛ ب. تأخیر زمانی انتقال داده در اینترنت تلفن همراه

ارزیابی به دست آمده‌اند. جدول (۵) نشان می‌دهد که استفاده از سرویس پردازش مه برای برنامه‌های حساس به تأخیر مانند واقعیت افزوده به دلیل تأخیر زمانی کمتر و سرعت انتقال داده بیشتر در تمام مراحل نسبت به استفاده از ابر مناسب‌تر است این مقدار برای داده‌ها با حجم‌های مختلف متفاوت است اما تأخیر زمانی بالای ابر را در تمام مراحل کمتر کرده است که این خود مزیت استفاده از مه می‌باشد.

جدول (۵): مقایسه برنامه پیاده‌سازی شده در [۲۷] و [۲۹] و برنامه مبتنی بر VMFC (زمان‌ها بر حسب میلی ثانیه)

برنامه مبتنی بر			پارامترها
VMFC	CLOUD در [۲۷]	CLOUD در [۲۹]	
۱/۸	۳/۱	۲/۴	زمان اولیه
۲۳/۴۷	۸۲/۸۷	۴۰/۳۱	زمان تشخیص
۸	۱۰	--	زمان انطباق
۰/۷	۱/۵	۰/۸۵	نمونه مشابه
۲۵	-	۲۳	زمان پاسخ
~۱۸	۲۳/۲۲۷	۱۸/۷	زمان تأخیر
۱۰	۱۸	۱۱/۳	زمان بارگذاری
۰/۰۰۷	۰/۱	--	زمان بارگیری

مقدار زیاد پارامترها در اجرای برنامه‌های مبتنی بر ابر به دلیل تأخیر زیاد و تعداد زیاد کاربران است. البته تفاوت زیاد در مقادیر به خصوص در مقدار زمان تشخیص مدل به علت این است که ما شرایط حاکم بر اجرای برنامه در منبع در [۲۷] و [۲۹] را نمی‌دانیم. از طرفی، مدل‌های پویای به کار گرفته شده با توجه به تعداد حرکات انیمیشن در مدل و جزئیات بیشتر افزایش حجم داشته و زمان تشخیص آن‌ها بالاتر می‌رود.

۶. نتیجه‌گیری

امروزه برنامه‌های کاربردی تلفن‌های هوشمند به همراه پردازش ابری، پردازش لبه و پردازش مه، امکان ارائه خدمات در مجموعه بزرگ اینترنت اشیاء و شهرهای هوشمند را فراهم کرده‌اند. استفاده از سرویس‌های پردازش مه بسیار برای اجرای دقیق برنامه‌های کاربردی دستگاه‌های هوشمند بسیار سرویس‌های بهینه‌ای را با حداکثر کارایی و حداقل تأخیر برای کاربران فراهم می‌کند. اجرای سریع و بموقع برنامه‌های حساس

جدول (۳): آزمون t زوجی برای بررسی تفاوت تأخیر زمانی در استفاده از VMFC و Junaio در اینترنت مخابرات

متغیر	مرحله	میانگین	انحراف استاندارد	t	p-value
سرعت	از استفاده از VMFC	۱۶/۷۷۰	۵/۵۷۳	-۲/۶۳۰	۰/۰۴۷
	استفاده از Junaio	۲۹/۳۱۶	۱۶/۷۹۸		

جدول (۴): آزمون t زوجی برای بررسی تفاوت تأخیر زمانی در استفاده از VMFC و Junaio در ۴ جی

متغیر	مرحله	میانگین	انحراف استاندارد	t	p-value
سرعت	از استفاده از VMFC	۲۲/۲۷۱	۱۱/۲۱۰	-۳/۶۸۶	۰/۰۱۴
	استفاده از Junaio	۳۲/۶۶۳	۱۸/۰۴۱		

این کاهش از نظر آماری نیز با مقدار $(p=۰/۰۰۴۷)$ معنادار است. در جدول (۴) نیز تأخیر زمانی در انتقال اینترنت ۴ جی در اجرای برنامه در سرور Junaio و تأخیر زمانی بعد از استفاده از VMFC به ترتیب مقدار $۳۲/۶۶۳$ و $۲۲/۲۷۱$ است که این کاهش تأخیر زمانی با مقدار $(p=۰/۰۰۱۴)$ معنادار می‌باشد. در جدول (۵)، مقایسه برنامه پیاده‌سازی شده با برنامه مشابه آن در [۲۷] و [۲۹] به ترتیب در محیط ابر و لبه بسیار که یک برنامه واقعیت افزوده مبتنی بر تصویر را در محیط ابری پیاده‌سازی می‌کرد، انجام شد. پارامترهای مقایسه بر اساس جدول مقایسه در [۲۷] تنظیم شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود برنامه پیاده‌سازی شده در محیط VMFC، عملکرد مناسب‌تری را نسبت به برنامه همتای خود ارائه می‌کند. همچنین کار [۲۹] نسبت به کار [۲۷] کارکرد بهتری دارد؛ زیرا این کار در محیط لبه انجام شده و این محیط تا حدود زیادی مشکلات تأخیر و انتظار در محیط‌های ابری را حل کرده است و از این لحاظ مشابه محیط مه کار می‌کند. در کار [۲۹] زمان انطباق ذکر نشده است. پارامترهای محاسبه شده در این جدول بر اساس میانگین داده‌های محاسبه شده در بخش ارزیابی با احتساب شرایط

آن صرفه‌جویی می‌شود. انتقال داده‌ها در دو حالت استفاده از سرور Junaio و VMFC در دو بستر اینترنت وای‌فای و اینترنت ۴جی تلفن همراه انجام شد. بستر اینترنت مخابرات برای هر دو مورد کارکرد بهتری را ارائه می‌دهد و در هر دو بستر انتقال داده VMFC بهینه‌تر است. انتقال داده‌ها با حجم بیشتر در VMFC با تأخیر زمانی کمتری انجام می‌شود که این مقدار در Junaio در صورت ازدحام شبکه و داده با حجم بیشتر مانع عملکرد صحیح برنامه می‌شود. استفاده از تعداد بیشتر گره‌های مه به صورت انبوه برای شبکه وسیع دستگاه‌های سیار لازم است و می‌بایست این روش بتواند تعداد دستگاه‌های زیاد و به‌دنبال آن برنامه‌های زیاد را پشتیبانی کند و با سرعت قابل قبول اجرا کند. تعداد گره‌های کم برای اجرای برنامه‌های محدود از ضعف این روش است که در کارهای آینده باید برطرف شود. همچنین امنیت بیشتر و رعایت حریم خصوصی در روش ارائه‌شده نیاز به کار و پژوهش بیشتری دارد. پیاده‌سازی و بهینه‌سازی لایه‌های معماری برای ارائه خدمات بهتر و کاراتر، ارتباط در بستر شبکه‌های ۵جی باید در آینده‌ای نزدیک مورد توجه قرار گیرد که تأخیرها را به حداقل می‌رساند. بررسی پارامترهای امنیت و بهینه‌سازی نحوه دسترسی به منابع در سطح برنامه‌های کاربردی و در سطح بالاتر گره‌های فعال در لایه مه از تحقیقات مورد نیاز در این زمینه است.

به تأخیر با پردازش‌های سنگین، مهم است. از طرفی، صرفه‌جویی در انرژی تلفن همراه نیز اهمیت دارد. روش پیشنهادی ارائه‌شده در این مقاله، محدودیت‌های سرویس‌های MCC از جمله تأخیر در دسترسی، پردازش سریع و ترافیک شبکه را کاهش داده و همچنین محدودیت‌های دستگاه‌های هوشمند در اجرای برنامه‌های بی‌درنگ مانند برنامه‌های واقعیت افزوده و برنامه‌هایی را که نیاز به محیط ذخیره بیشتری دارند، مرتفع کرده است. به دلیل ثبت مشخصات کاربر و رمزگذاری با امضای دیجیتال، اعطای شناسه منحصر به فرد برای هر کاربر و شناسه نرم‌افزاری برای هر برنامه منتقل شده به گره مه، استفاده از این معماری امنیت احراز را برای دسترسی به منابع و داده‌ها افزایش می‌دهد و امکان استفاده مجدد از شناسه منحصر به فرد یک کاربر توسط شخص دیگری وجود ندارد. برنامه واقعیت افزوده مبتنی بر تصویر بر اساس روش ارائه‌شده پیاده شد. نکته مهم در اجرای این برنامه‌ها سرعت اجرای مدل‌های سه‌بعدی و نمایش درست حرکات پویای این مدل‌هاست. انتقال پلی‌گون‌های پردازش‌شده روی مدل سه‌بعدی به صفحه نمایش در دو حالت بارگذاری از تلفن همراه و بارگذاری از VMFC مقایسه و مشاهده شد برای مدل‌ها با حجم بیشتر، استفاده از تکنولوژی VMFC سریع‌تر عمل می‌کند و این امتیازی در اجرای برنامه‌های حساس به تأخیر و بی‌درنگ است. همچنین در حافظه مصرفی تلفن همراه و انرژی

مراجع

- [1] Chiang M. and Zhang T., "Fog and IoT: An Overview of Research Opportunities", IEEE Internet Things J. 3, pp. 854-864, 2016.
- [2] Roman R., Lopez J. and Mambo M., "Mobile edge computing, Fog et al.: A survey and analysis of security threats and challenges", Future Generation Computer Systems, in press, corrected proof, Available online 12 November 2016.
- [3] Neware R., Ulabhaje K., Karemore G., Lokhande H. and Dandige V., "Survey on Security Issues in Mobile Cloud Computing and Preventive Measures", in: Smart Computing Paradigms: New Progresses and Challenges, vol. 767, pp. 89-100, 2020
- [4] Munir A., Kansakar P., and Khan S. U., "IFCIoT : integrated fog cloud IoT architectural paradigm for future internet of things", arXiv preprint arXiv:1701.08474, 2017.
- [5] Beck M.T. and Maier M., "Mobile edge computing: Challenges for future virtual network embedding algorithms", in: Proceedings of the eighth International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences, ADVCOMP, pp. 65-70, 2014.
- [6] ETSI, Mobile-Edge Computing Introductory Technical Paper, <http://www.etsi.org/technologiesclusters/technologies/mobile-edge-computing ptc>.
- [7] Weisong Sh., Jie C., Zhang Q., Youhuizi L., Lanyu X., "Edge computing: Vision and challenges", IEEE Internet of Things Journal, pp. 637-646, 2016.

- [8] Wang S., Zhang X., Zhang Y., Wang L., Yang J., and Wang W., "A survey on mobile edge networks: Convergence of computing, caching and communications", IEEE Access, to appear, 2016.
- [9] Kreutz D., Ramos F., Verissimo P. E., Rothenberg C. E., Azodolmolky S. and Uhlig S., "Software-defined networking: A comprehensive survey", Proc. IEEE, vol. 103, no. 1, pp. 14–76, 2015.
- [10] Kumar N., Zeadally S. and Rodrigues J.J.P.C., "Vehicular delay-tolerant networks for smart grid data management using mobile edge computing", IEEE Commun. Mag, pp. 5460-66, 2016.
- [11] Ai Y., Peng M. and Zhang K., "Edge Computing Technologies for Internet of Things: A Primer, Digital Communications and Networks", in press, accepted manuscript, 2017.
- [12] Anglin S., Buckingham E., Cornell G., Corrigan L., Ertel M., Gennick J., Hassell J., Hutchinson R., Lowman M., Markham J., Moodie M., Olson J., Pepper J., Pundick D., Clarke B. R., Shakeshaft D., Spearing G., Wade M., Welsh T., Collins C., Ricketts Ch., Moore V. and Sixsmith N., *ConText Editorial Services ProAugmented Reality*, pp.7-41, 2012.
- [13] Bonomi F., Milito R., Zhu J. and Addepalli S., "Fog computing and its role in the Internet of things", in: Proceedings of the first Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing, pp.13-16, 2012.
- [14] Chin W.S., Kim H.S., Heo Y.J. and Jang J.W., "A context-based future network infrastructure for IoT services", *Procedia Comput. Sci.* 56, pp. 266–270, 2015.
- [15] Datta S., Bonnet C. and Haerri J., "Fog computing architecture to enable consumer centric Internet of things services", in: Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Consumer Electronics, pp. 1–2, 2015.
- [16] IBM News Releases, *IBM and Nokia Siemens Networks announce world first mobile edge computing platform*, 2013, <http://www/03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/40490.wss>, PTC 2017.07.14.
- [17] Portillo J.O. F., Puente I. T. and Malaina F. L., "Radio-aware service-level scheduling to minimize downlink traffic delay through mobile edge computing", in: Proceedings of the seventh EAI International Conference on Mobile Networks and Management, pp. 1–14, 2015.
- [18] Misra S. and Sarkar S., "Theoretical modelling of fog computing: a green computing paradigm to support IoT applications", *IET Networks*. Five, pp. 23–29, 2016.
- [19] Lanka D., Veenadhari Ch. L. and Suryanarayana D., "Application of Fog Computing in Military Operations", *International Journal of Computer Applications*, vol. 164, no. 6, pp.10-15, April 2017.
- [20] Zhanikeev M., "A cloud visitation platform to facilitate cloud federation and fog computing", *Computer*, vol. 48, no. 5, pp. 80–83, 2015.
- [21] Abolfazli S., Sanaei Z., Ahmed E., Gani A. and Buyya R., "Cloud-Based augmentation for mobile devices: Motivation, taxonomies and open challenges", arXiv preprint: 1306.4956, 2013.
- [22] Nunna S., Kousaridas A., Ibrahim M., Dillinger M., Thuemmler Ch., Feussner H. and Schneider A., "Enabling Real-Time Context-Aware Collaboration through 5G and Mobile Edge Computing", 12th International Conference on Information Technology - New Generations, 2015.
- [23] Kchaou H., Kechaou Z. and Alimi A. M., "Towards an Offloading Framework based on Big Data Analytics in Mobile Cloud Computing Environments", *Procedia Comput. Sci.*53, pp. 292–297, 2015.
- [24] Vuppalapati C., Ilapakurti A., and Kedari S., "The Role of Big Data in Creating Sense EHR, an Integrated Approach to Create Next Generation Mobile Sensor and Wearable Data Driven Electronic Health Record (EHR)", Proc.2016 IEEE 2nd Int. Conf, Big Data Comput, pp. 293–296, 2016.
- [25] Sharma V., Lim J. D., Kim J.N., and You I., "SACA: Self-Aware Communication Architecture for IoT Using Mobile Fog Servers", *Mobile Information Systems*, 2017.
- [26] Shuwaili A. A. and Simeone O., "Energy-efficient resource allocation for mobile edge computing-based augmented reality applications", *IEEE Wireless Commun. Lett.* vol. 6, no. 3, pp.398-401, 2017.
- [27] Chiu P.H., Tseng P. H. and Feng K.T., "Cloud Computing Based Mobile Augmented Reality Interactive System", Published in Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), IEEE, 2014.
- [28] Huangy B.R., Liny Ch. H. and Lee Ch.H., "Mobile Augmented Reality Based on Cloud Computing", Published in: Anti-Counterfeiting, Security and Identification (ASID), 2012.
- [29] Chien W.C., Weng H.Y., Lai C.F., "Q-learning based collaborative cache allocation in mobile edge computing", In Future Generation Computer Systems, vol. 102, pp. 603-610, 2020.
- [30] Yi Ch., C J. and Su Z., "A Multi-User Mobile Computation Offloading and Transmission Scheduling Mechanism for Delay Sensitive Application. In: IEEE Transactions on Mobile Computing", pp. 99-110, 2019.
- [31] Nayak S. C. and Tripathy C., "An Improved Task Scheduling Mechanism Using Multi-Criteria Decision Making in Cloud Computing", *International Journal of Information Technology and Web Engineering (IJITWE)*, vol. 14, no. 2, pp. 235-248, 2019.
- [32] Liu L., Chang Z., Guo X., "Socially-aware dynamic computation offloading scheme for fog computing system with energy harvesting devices", *IEEE Internet of Things*, vol. 5, no. 3, pp. 1869-1879, 2019
- [33] Miao Y., Wu G., Li M., Ghoneim A., Al-Rakhami M., Hossain M. S., "Intelligent task prediction and computation offloading based on mobile-edge cloud computing", *Future Generation Computer Systems*, vol. 102, pp. 925-931, 2020.
- [34] Bonomi F., Milito R., Natarajan P. and Zhu J., "Fog computing: A platform for Internet of things and analytics", in: N. Bessis, C. Dobre (Eds.), *Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments*, vol. 546, Springer International Publishing, pp.169–186, 2014.
- [35] Zao J., Gan T.T., You C.K., Mendez S. R., Chung C.E., Wang Y.T., Mullen T. and Jung T.P., "Augmented brain computer interaction based on fog computing and linked data", in: Proceedings of the

- International Conference on Intelligent Environments, pp. 374–377, 2014.
- [36] Yuyi M., Changsheng Y., Zhang J., Huang K. and Letaief B. K., "A Survey on Mobile Edge Computing": *The Communication Perspective*, submitted to IEEE Commun. Surveys Tuts, 2107.
- [37] Rahimi M.R., Ren J., Liu C.H., Vasilakos A.V. and Venkatasubramanian N., "Mobile cloud computing: A survey, state of art and future directions", *Appl.*, vol. 19, no. 2, pp. 133-143, 2014.
- [38] Abeywickrama R., Haviv M., Oz B., Ziedins I., "Strategic bidding in a discrete accumulating priority queue", *Operations Research Letters*, vol. 47, no. 3, pp.162-167, 2019.
- [39] Zhang J., Fangqiang Y., Ding L., and Zhenzhong H., "Development and implementation of an industry foundation classes-based graphic information model for virtual construction Computer", *Aided Civil and Infrastructure Engineering*, pp.60–74, 2014.
- [40] Junaio, <http://dev.metaio.com/junaio/PTC/> 2016-08-17.
- [41] Petit B., Lesage J.D., Boyer E., Franco J.S. and Raffin B., "Remote and collaborative 3D intera actions", pp. 269–270, 2011.
- [42] Nawrocki, P. and Reszelewski, W., "Resource usage optimization in Mobile Cloud Computing", *Computer communications*, Vol. 99, pp. 1-12, 2017.