

مروری بر زمانبندی در بستر اینترنت اشیاء-مه-ابر: کلیات، معماری و چالش‌ها

سارا حسین پور

گروه مهندسی کامپیوتر، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

شیوا رزاق زاده

گروه مهندسی کامپیوتر، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

بابک نوری مقدم

گروه مهندسی کامپیوتر، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

چکیده

فناوری اینترنت اشیاء مدام در حال رشد است و حجم داده‌های دریافت شده از محیط در این بستر به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد. از سوی دیگر استفاده از این داده‌ها به صورت مؤثر نیازمند ذخیره‌سازی و پردازش است. بنابراین میان‌افزارها و رسانه‌های جانبی مانند پردازش مه و پردازش ابری از الزامات بهره‌برداری از شبکه‌های اینترنت اشیاء است. همچنین وجود سربار اطلاعات در ابر و لزوم سبک‌سازی ابر توسط محاسبات مه، چالش‌های متعددی را برای محاسبات مه به وجود آورده است. داده‌های خام ارسالی به مه از دستگاه‌های هوشمند در اینترنت اشیاء، باید به صورت جامع و مفید به ابر برسند تا پارامترهای کیفیت سرویس نقض نشوند. از سوی دیگر، به دلیل ناهمگونی سنسورهای مورد استفاده در بستر اینترنت اشیاء، وظایف پردازشی ماهیت متفاوتی دارند و ممکن است بسته به شرایط مهلت اجرا و طول، متفاوتی داشته باشند. بنابراین، پردازش وظایف نیاز به منابع مناسب دارد تا زمان پاسخ‌دهی به وظایف به حداقل برسد. در این راستا مرتب‌سازی وظایف بر اساس ویژگی‌های وظایف و زمان‌بندی آن‌ها در منابع مناسب در راستای بهبود اهداف کیفیت سرویس یکی از ضروریات سرورهای ابری است که در این مقاله به عنوان ضرورت اصلی مقاله معرفی شده است. از این رو در این مقاله به بررسی روش‌های زمانبندی در بستر اینترنت اشیاء-مه-ابر پرداخته‌ایم.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیاء، رایانش ابری، رایانش مه، زمانبندی

۱- مقدمه

دستگاه‌های الکترونیکی توانایی خود را برای تولید داده‌ها گسترش داده‌اند که منجر به انباشت طیف گسترده‌ای از اطلاعات از اندازه‌گیری پدیده‌های طبیعی تا رفتارهای مرتبط با انسان می‌شود. با گسترش مورد انتظار اینترنت اشیاء، پیش‌بینی می‌شود که در آینده تقریباً همه اشیاء به نحوی به یکدیگر متصل شوند. همراه با اتصال همه چیز به اینترنت، نیاز به انتقال، ذخیره و پردازش مقادیر بی‌سابقه‌ای از داده‌ها وجود دارد که مسیری را برای تحقیقات سالیانه مرتبط با چنین الزامات اینترنت اشیاء ایجاد می‌کند (Bittencourt et al, 2018).

به منظور ارائه راه‌حل‌های مناسب برای نیازهای مختلف برنامه‌ها، پارادایم‌های محاسباتی جدیدی در این معماری‌ها اتخاذ شده است. پیش از این، ارسال داده به برنامه‌های کاربردی واقع در فضای ابری با استفاده از اینترنت یک طرح استاندارد بود. با این حال، برنامه‌های جدید اینترنت اشیاء و افزایش داده‌های تولید شده توسط کاربران، محدودیت‌های این جایگزین را نشان داده‌اند، به‌ویژه زمانی که با برنامه‌های حساس به تأخیر سروکار داریم. بنابراین، استقرار منابع محاسباتی نزدیک‌تر به منابع می‌تواند منجر به دستیابی به سطوح خدمات کافی برای هر برنامه شود. به این ترتیب، پارادایم‌های جدیدی مانند محاسبات لبه موبایل (¹MEC)، محاسبات ابری سیار (²MCC)، محاسبات لبه، کلودلته‌ها و محاسبات مه نشان داده‌اند که می‌توان زمان پاسخ و مصرف پهنای باند را کاهش داد، حریم خصوصی و شرایط امنیتی را بهبود بخشید، استقرار سرویس‌های مبتنی بر مکان و کاهش مشکلات اتصال در محیط‌هایی که با اینترنت اشیاء متصل هستند، در مقایسه با سیستم‌های مستقر در ابر تسهیل کرد (Mouradian et al, 2017).

رایانش ابری تکامل یافته است و به یک پلتفرم با کاربری آسان برای برنامه‌های کاربردی به طور کلی برای ذخیره و پردازش داده‌ها تبدیل شده است. دستگاه‌های اینترنت اشیاء اغلب برای ذخیره و پردازش داده‌ها به محاسبات ابری متکی هستند. از یک سو، پذیرش گسترده رایانش ابری به دلیل انعطاف‌پذیری پارادایم و هزینه‌های سرمایه اولیه کاهش یافته یا بی‌اثر، پیامد زمان ورود سریع به بازار برای بسیاری از انواع برنامه‌ها است. از سوی دیگر، همین پذیرش گسترده، برخی از محدودیت‌های پارادایم را در برآوردن تمام الزامات برخی از کلاس‌های برنامه‌ها، مانند بلادرنگ، تأخیر کم، و برنامه‌های کاربردی تلفن همراه آشکار کرده است. مراکز داده ابری متمرکز اغلب از نظر فیزیکی و/یا منطقی از کلاینت ابری دور هستند، که دلالت بر ارتباطات و انتقال داده‌ها برای عبور از چند جهش دارد، که باعث ایجاد تأخیر و مصرف پهنای باند شبکه از شبکه‌های لبه و هسته می‌شود (Bittencourt et al, 2018).

پذیرش گسترده اینترنت اشیاء، همراه با توانایی روزافزون دستگاه‌های لبه برای اجرای برنامه‌های کاربردی ناهمگن که انواع داده‌ها را از منابع مختلف تولید و مصرف می‌کنند، به زیرساخت‌های محاسباتی توزیع شده ابری نیاز دارد که بتواند با چنین الزامات کاربردی ناهمگنی مقابله کند. زیرساخت‌های محاسباتی که برنامه‌ها را در دستگاه‌های لبه اجرا می‌کنند، در سال‌های اخیر ظاهر شده‌اند و جنبه‌هایی مانند زمان پاسخ‌گویی و کاهش استفاده از پهنای باند را بهبود می‌بخشند. با ترکیب توانایی اجرای برنامه‌های کوچک‌تر و محلی در لبه با ظرفیت بالا از ابر، محاسبات مه به عنوان الگویی ظاهر شده است که می‌تواند نیازهای ناهمگون برنامه‌های کوچک و بزرگ را از طریق لایه‌های متعدد لبه شبکه و همچنین زیرساخت محاسباتی ابر که منابع را ترکیب می‌کند، پشتیبانی کند. در این میان مدیریت فضای رقابتی در تخصیص منابع ابری نیاز به رویکردهای زمانبندی مناسبی دارد. از این رو در این مقاله به بررسی روش‌های زمانبندی در بستر اینترنت اشیاء-مه-ابر پرداخته‌ایم.

ادامه مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است. در بخش دوم کلیات بستر اینترنت اشیاء-مه-ابر بررسی می‌شود. در بخش سوم چالش‌های موجود در بستر اینترنت اشیاء-مه-ابر بررسی می‌شود. در بخش چهارم برخی از روش‌های پیشین بررسی خواهد شد. در بخش پنجم نتیجه‌گیری مقاله بیان خواهد شد.

¹ Mobile Edge Computing

² Mobile Cloud Computing

۲- اینترنت اشیا، مه، و ابر: تعاریف اساسی

این بخش اصطلاحات و مفاهیم مربوط به سه جزء اکوسیستم IoT-Fog-Cloud را معرفی می کند.

۲-۱ اینترنت اشیا

چندین پیش بینی در مورد اینترنت اشیا در ادبیات ارائه شده است. اگر یک اتفاق نظر در مورد اینترنت اشیا وجود داشته باشد، آن در مورد تعداد دستگاه های متصل است: ده ها میلیارد چیز در چند سال آینده به هم متصل خواهند شد. چنین دستگاه هایی می توانند تقریباً شامل هر شیئی با میکروکنترلر تعبیه شده و قابلیت های ارتباطی باشند (به عنوان مثال. به صورت کلی، مجموعه ای از حسگرها و/یا محرک ها). این تعداد بی سابقه از دستگاه ها منجر به حجم بی سابقه ای از داده ها برای انتقال و پردازش می شود. علاوه بر این، دستگاه های متصل به اینترنت اشیا در سطوح مختلف بسیار ناهمگن هستند: پروتکل های ارتباط داده، انرژی مورد نیاز، ظرفیت محاسباتی، تحرک و غیره. بنابراین، مدیریت دستگاه های اینترنت اشیا، در سراسر ارتباطات داده و پشته پردازش، ذاتاً چالش برانگیز می شود. داده های خام تولید شده توسط اینترنت اشیا به عنوان یک کل ممکن است مستقیماً مفید نباشند. چنین مجموعه داده های فوق العاده بزرگی به قابلیت های پردازش و استخراج دانش قابل توجهی نیاز دارد تا اطلاعات روشن تری ارائه کند. برنامه های کاربردی اینترنت اشیا با هدف تحقق این وظیفه هستند: تبدیل داده های جمع آوری شده به دانش اطلاعات واقعی. اگرچه تعداد بی شماری از برنامه های کاربردی جدید توسط اینترنت اشیا فعال می شوند، اما این نیز منبع افزایش ناهمگونی است: برنامه های مختلف نیز نیازمندی های متفاوتی دارند که باید توسط سیستم محاسباتی که دستگاه های IoT را با برنامه هایشان ترکیب می کند، برآورده شوند. در بخش های بعدی، دو پارادایم محاسباتی را ارائه می کنیم که می توانند با هم برای برآوردن الزامات ناهمگن مرتبط با برنامه های IoT مورد استفاده قرار گیرند: رایانش ابری و مه (Sundmaeker et al, 2010).

۲-۲ رایانش ابری

رایانش ابری در دهه گذشته به یک الگوی محاسباتی مورد قبول برای بسیاری از برنامه ها تبدیل شده است، زیرا ویژگی های دینامیکی آن مانند کشش و پرداخت به ازای استفاده است. برای ارائه این ویژگی ها، مجازی سازی یکی از ارکان مدیریتی برای ارائه دهندگان ابر است.

ماشین های مجازی و کانتینرها به ارائه دهندگان این امکان را می دهند تا برش هایی از منابع محاسباتی خود را که معمولاً در مراکز داده بزرگ مستقر می شوند، بین کاربران به اشتراک بگذارند و در نتیجه یک سیستم منطقی ایزوله برای هر مستأجر ایجاد می شود. محاسبات بر اساس تقاضا توسط ارائه دهندگان ابر بر اساس سه مدل متعارف، یعنی زیرساخت به عنوان یک سرویس ($IaaS^3$)، پلت فرم به عنوان یک سرویس ($PaaS^4$)، و نرم افزار به عنوان یک سرویس ($SaaS^5$) ارائه می شود. $IaaS$ زیرساخت محاسباتی را به عنوان یک سرویس ارائه می دهد که در آن کاربر می تواند از راه دور به قدرت محاسباتی دسترسی داشته باشد و آن را مدیریت کند. $PaaS$ یک پلت فرم برای توسعه نرم افزار به همراه کتابخانه ها و پایگاه های داده لازم برای استقرار و اجرای برنامه ها ارائه می دهد و $SaaS$ خود نرم افزار را با تکیه بر زیرساخت ارائه دهندگان ابری برای تخلیه محاسبات و/یا داده ها ارائه می دهد. انواع سطوح خدمات ابری ظاهر شده است که منجر به مفهوم همه چیز به عنوان سرویس ($XaaS^6$) شده است (Duan et al, 2015).

ارائه دهندگان ابری را نیز می توان بر اساس مدل استقرارشان طبقه بندی کرد: ابرهای عمومی، خصوصی، ترکیبی و اجتماعی. ابرهای عمومی آنهایی هستند که به روی عموم باز هستند و معمولاً برای هر کسی که به اینترنت متصل است، هزینه پرداخت به ازای هر استفاده دریافت می شود. ابرهای خصوصی به مجموعه ای از کاربران از پیش تعریف شده محدود می شوند (به عنوان مثال،

³ Infrastructure as a Service

⁴ Platform as a Service

⁵ Software as a Service

⁶ Everything as a Service

از یک شرکت یا دانشگاه). ابرهای ترکیبی، ترکیبی از منابع ابر عمومی و خصوصی هستند که اغلب برای برآوردن تقاضای پویا و اجتناب از سرمایه‌گذاری اولیه برای اوج تقاضا تشکیل شده‌اند. جامعه ابرها، شبیه سازمان‌های مجازی از محاسبات شبکه‌ای، ترکیبی از ابرهای خصوصی به منظور اشتراک منابع هستند (Bittencourt et al, 2012).

خدمات ابری بر اساس یک قرارداد سطح سرویس (SLA^7) ارائه می‌شوند که مشخص می‌کند چه چیزی ارائه می‌شود و چگونه باید برای استفاده از سرویس ابری هزینه‌ای از کاربر دریافت شود. نمونه‌های رایج مدل‌های پرداخت به ازای استفاده هستند که در آنها شارژ بر اساس واحد زمانی (مانند ماشین‌های مجازی در ساعت)، بر اساس مقدار داده (مانند انتقال داده‌ها از ارائه‌دهنده یا مقدار داده‌های ذخیره‌شده) یا بر اساس تعداد درخواست‌ها انجام می‌شود (به عنوان مثال، تعداد دفعاتی که یک تابع/روش خاص در مدل برنامه نویسی یک ارائه دهنده SaaS فراخوانی شده است).

ویژگی‌های فوق منجر به ویژگی‌هایی می‌شود که ابر را برای مشتریان جذاب می‌کند، به عنوان مثال تأمین/عدم تأمین بر اساس تقاضا، کشش، دسترسی همه‌جا، سرمایه‌گذاری‌های اولیه کمتر با هزینه‌های سرمایه کاهش یافته در ازای هزینه‌های عملیاتی، و زمان سریع‌تر برای ورود به بازار. در طول این مقاله، ما در مورد اینکه چگونه ابرها می‌توانند بخشی از الزامات برنامه را در چشم‌انداز اینترنت اشیا برآورده کنند، بحث می‌کنیم. ما همچنین بحث می‌کنیم که چگونه محاسبات مه، تعریف شده در بخش بعدی، می‌تواند با ابر ترکیب شود تا زیرساختی را فراهم کند که طیف وسیعی از الزامات را برای برنامه‌های IoT برآورده می‌کند (Bittencourt et al, 2018).

۲-۳ رایانش مه

ترکیبی از ظرفیت محاسباتی بالاتر با تکامل همزمان شبکه‌های لبه، از الگوهای محاسباتی توزیع شده استفاده می‌کند که استفاده از دستگاه‌های لبه را برای اجرای برنامه‌ها و ذخیره داده‌ها پیشنهاد می‌کنند. تکامل سخت‌افزار همچنین به دستگاه‌ها اجازه داد تا از نظر اندازه کوچک شوند و در نتیجه دستگاه‌های تلفن همراه دارای ظرفیت محاسباتی و باتری کافی برای اجرای برنامه‌های کاربردی با پیچیدگی و کیفیت خدمات معقول (QoS^8) هستند. تجمع دستگاه‌های لبه در یک زیرساخت سیستم توزیع‌شده نام‌های مختلفی در ادبیات دارد، همچنین ویژگی‌ها و تمرکزهای متفاوتی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، مؤسسه استانداردهای ارتباطات از راه دور اروپا ($ETSI^9$) اخیراً نام محاسبات لبه موبایل را به محاسبات لبه چند دسترسی تغییر داد، در حالی که همان مخفف MEC را حفظ کرد (Villari et al, 2016). این تغییر تلاشی برای ارائه چارچوب انعطاف‌پذیرتر است که فراتر از الزامات اپراتور جدید سلولی است. هدف اصلی همچنان یکسان است، یعنی ارائه ویژگی‌های ابر مانند نزدیک به مشترکین در لبه شبکه، با این حال، اکنون شامل سایر فناوری‌های ارتباطی سیمی و بی‌سیم می‌شود. به همین دلیل، طیف وسیعی از طرح‌های جدید را می‌توان در شبکه‌های اینترنت اشیا و خودرو به همه چیز ($V2X^{10}$) پیاده‌سازی کرد.

محاسبات مه، دستگاه‌های لبه و ابر را گرد هم می‌آورد، و همچنین سلسله مراتبی از ظرفیت محاسباتی (گره‌های مه، ابرها یا مراکز داده میکرو) بین لبه و ابر را معرفی می‌کند. این ظرفیت می‌تواند در نقاط دسترسی، دستگاه‌های مسیریابی در شبکه، هسته شبکه و غیره پراکنده شود. انتظار می‌رود که هر چه گره مه (مرکز داده‌های ابری یا میکرو) در سلسله مراتب شبکه بالاتر باشد، ظرفیت محاسباتی آن بیشتر خواهد بود زیرا باید ظرفیت را برای مجموعه بزرگتری از کاربران به سمت پایین سلسله مراتب فراهم کند. علاوه بر این، هرچه یک دستگاه در سلسله مراتب پایین‌تر باشد، به لبه نزدیک‌تر است، بنابراین تاخیرهای ارتباطی کمتری برای

⁷ Scheduling in hybrid clouds,

⁸ quality of service

⁹ European Telecommunications Standards Institute

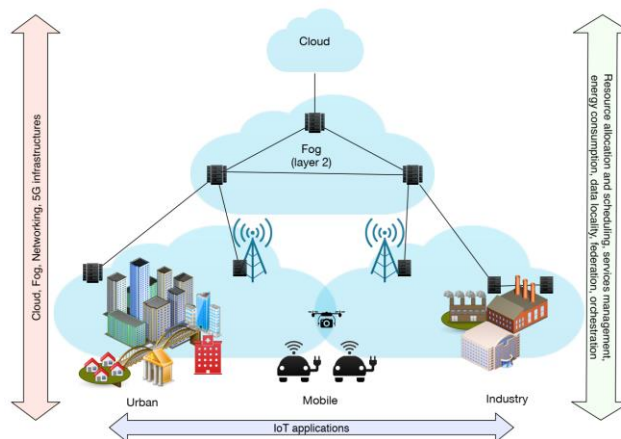
¹⁰ Vehicle-to-everything

دستگاه‌های لبه (به عنوان مثال، دستگاه‌های کاربر نهایی، حسگرها و محرک‌های اینترنت اشیا، وسایل نقلیه، هواپیماهای بدون سرنشین و غیره) ایجاد می‌کند (Mahmood and Ramachandran, 2018). سلسله مراتب محاسباتی در زیرساخت مه می‌تواند طیف وسیع‌تری از سطوح خدمات را ارائه دهد، و از برنامه‌هایی پشتیبانی می‌کند که به تنهایی نمی‌توانند توسط محاسبات ابری پشتیبانی شوند. زیرساخت مه قادر به رسیدگی به برنامه‌های کاربردی با انواع نیازمندی‌های QoS است، زیرا برنامه‌ها می‌توانند در سطح سلسله مراتبی اجرا شوند که ظرفیت پردازش کافی را فراهم می‌کند و الزامات تأخیر را برآورده می‌کند. پیامد دیگر استفاده از پردازش نزدیکتر به لبه، کاهش (تجمیع) استفاده از پهنای باند در شبکه در طول مسیر بین لبه و ابر است (Mahmood and Ramachandran, 2018).

۲-۴ مسائل مهم در IoT-Fog-Cloud

در این بخش، سه جنبه مختلف سلسله مراتب IoT-Fog-Cloud را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهیم، همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است.

۱. زیرساخت، که در آن زیرساخت‌های محاسباتی و شبکه‌ای ابر و مه، از جمله جنبه‌های شبکه از نظر اتصال زیرساخت و همچنین پروتکل‌های دسترسی به زیرساخت، و سودمندی محاسبات مه در پشتیبانی از 5G، تعریف و مورد بحث قرار می‌گیرد.
۲. مدیریت، که در آن نیازهای مدیریت برای زیرساخت IoT-Fog-Cloud مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد، از جمله هماهنگی، مدیریت منابع، مدیریت خدمات، مصرف انرژی، فدراسیون دستگاه‌ها، و محل داده‌ها.
۳. برنامه‌های کاربردی، که در آن سه نوع مختلف از برنامه‌های کاربردی در نظر گرفته می‌شود، یعنی محاسبات شهری، برنامه‌های کاربردی تلفن همراه، و اینترنت اشیا صنعتی، در مورد اینکه چگونه می‌توانند از محاسبات مه بهره ببرند.



شکل ۱. جنبه‌های مختلف سلسله مراتب IoT-Fog-Cloud (Bittencourt et al, 2018).

۲-۴-۱ زیر ساخت

۲-۴-۱-۱ ابر و مه

زیرساخت مورد بحث در این بخش ترکیبی از مه و ابر برای پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا است، بنابراین یک زیرساخت سه لایه را تشکیل می‌دهد. در حالی که دستگاه‌های بسیاری در لبه شبکه متمرکز شده‌اند، دستگاه‌های مه از نقطه دسترسی دستگاه اینترنت اشیا از طریق هسته شبکه توزیع می‌شوند. ابر از حسگرها/عملگرهای IoT دورتر است و برای دسترسی به منابع رایانش ابری به درخواست‌هایی از لبه نیاز دارد تا از اینترنت عمومی عبور کند. از آنجایی که زیرساخت مه می‌تواند خود از سطوح مختلف تشکیل شده باشد، لایه میانی زیرساخت IoT-Fog-Cloud می‌تواند سطوح مختلفی از کیفیت خدمات را ارائه دهد.

برنامه‌هایی که نیازمندی‌های متفاوتی دارند، بسته به نیازشان، می‌توانند بر روی هر دستگاهی در این ترکیب زیرساخت مستقر و اجرا شوند. علاوه بر این، اجزای برنامه را می‌توان در بین دستگاه‌ها در سطوح مختلف مه بسته به نیاز برنامه (مانند تأخیر، ظرفیت محاسباتی، محل داده) توزیع کرد (Mann, 2021).

خدمات رایانش ابری مبتنی بر مراکز داده متمرکز هستند، جایی که ظرفیت محاسباتی از طریق مجازی‌سازی خوشه‌های محاسباتی مستقر در ساختمان‌هایی که مخصوص میزبانی آنها طراحی شده‌اند، ارائه می‌شود. میزبان‌ها در مرکز داده اغلب از طریق اینترنت متصل می‌شوند. توپولوژی‌های مختلف برای این اتصال در ادبیات موجود است. کاربران ابر معمولاً از جزئیات توپولوژی شبکه مرکز داده آگاه نیستند یا نگران نیستند، حتی اگر این امر می‌تواند بر رفتار برنامه تأثیر بگذارد. از آنجایی که مدیریت و کنترل زیرساخت وظایف ارائه‌دهنده است، نحوه تأثیرگذاری این زیرساخت بر برنامه باید در قرارداد سطح سرویس (SLA) ایجاد شده بین ارائه‌دهندگان و کاربران منعکس شود (Wang et al, 2015).

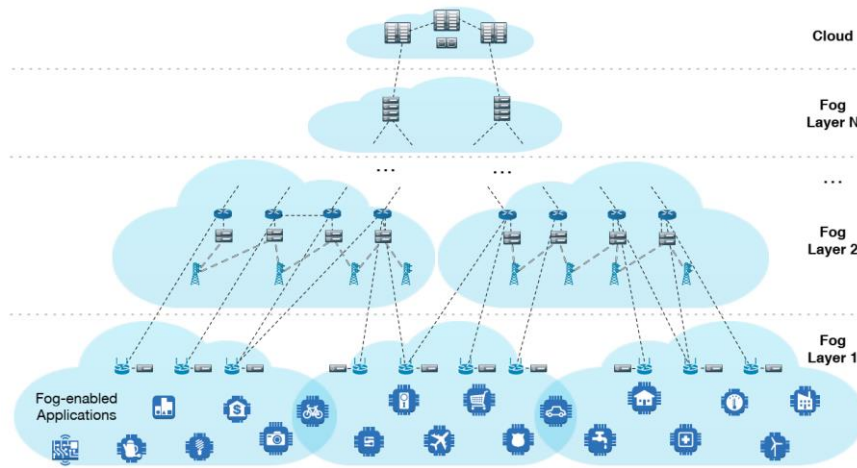
مراکز داده ابری امکانات بزرگی هستند که به دلیل نیازهای زیرساختی خاص مانند فضا، نیرو و سرمایش و همچنین به دلیل نیاز به نیروی کار واجد شرایط و هزینه‌های مدیریت مرتبط، تعداد محدودی از مکان‌ها مستقر شده‌اند. از سوی دیگر، کاربران ابری در سراسر جهان پراکنده هستند و در نتیجه بسیاری از کاربران از نظر جغرافیایی به مراکز داده ابری ارائه‌دهنده ابر ترجیحی خود نزدیک نیستند. به همین ترتیب، دستگاه‌های اینترنت اشیا پراکنده هستند و همچنین ممکن است از ابر دور باشند. بنابراین، زیرساخت محاسباتی مه می‌تواند به آن دستگاه‌ها نزدیک‌تر باشد تا ظرفیت محاسباتی با زمان پاسخ کمتر را به ارمغان بیاورد (Wang et al, 2015).

زیرساخت مه را می‌توان در یک سلسله مراتب در میان دستگاه‌های لبه (IoT)، دستگاه‌های هوشمند تلفن همراه و غیره) و مراکز داده ابری سازماندهی کرد. توزیع (به عنوان مثال، چگالی یا تعداد سطوح) این سلسله مراتب می‌تواند از مکانی به مکان دیگر متفاوت باشد، اما انتظار می‌رود سطح اول یک پرش دورتر از لبه (کاربر یا دستگاه) قرار گیرد: در نقطه دسترسی (مثلاً WiFi) یا آنتن‌های تلفن همراه) یا بلافاصله بالای آن. این اولین (نزدیک‌ترین) گزینه تخلیه برای دستگاه‌های لبه است که تأخیر کمتری را ارائه می‌کند، حتی اگر ظرفیت محاسباتی محدودی داشته باشد. این سطح واحد پردازش را می‌توان با ابر ترکیب کرد تا قدرت محاسباتی لازم را برای برنامه‌های کاربردی با نیازهای ناهمگن فراهم کند، اما سطوح مه دیگری ممکن است برای افزایش ظرفیت محاسباتی نزدیک‌تر به لبه اضافه شود و امکان پردازش/انتقال داده‌ها بین دستگاه‌های متصل را فراهم کند. به نقاط دسترسی مختلف یا دور. استقرار چند لایه گره‌های مه ممکن است به مورد استفاده بستگی داشته باشد. تعداد لایه‌های یک سیستم مه توسط عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های حجم کاری مورد پردازش، ظرفیت‌های موجود گره‌های پردازش، تعداد سنسورها و محرک‌ها و الزامات تأخیر تعیین می‌شود. حجم کار روی گره‌های مه به طور کلی به پردازش کارهای محدود شده با تأخیر مربوط می‌شود. ابر می‌تواند بارهای کاری سنگین را پردازش کند و داده‌ها را در دراز مدت ذخیره کند (Wang et al, 2015).

معمول است که سلسله مراتب ظرفیت محاسباتی ذکر شده را به عنوان گره‌های مه، کلادها یا مراکز داده خرد تعیین کنیم. از نظر مفهومی، هر چه کلود در سلسله مراتب بالاتر باشد، ظرفیت پردازش/ذخیره‌سازی آن بزرگتر است، زیرا انتظار می‌رود از دستگاه‌های بیشتری در درخت به سمت پایین لبه پشتیبانی کند. از سوی دیگر، کلودهایی که در سلسله مراتب بالاتر هستند نیز انتظار می‌رود که تأخیرهای شبکه طولانی‌تری را به لبه ارائه دهند. بنابراین، ترکیب سلسله مراتبی مراکز داده میکرو (یا کلودلت‌ها) همراه با ابر طیفی از ظرفیت محاسباتی را در فواصل جغرافیایی و منطقی مختلف به دستگاه‌های اینترنت اشیا در لبه فراهم می‌کند (Wang et al, 2015).

۲-۴-۱-۲ شبکه و سلسله مراتب مه

اتصال بین چندین لایه در سلسله مراتب مه/ابر می‌تواند به لطف چندین فناوری شبکه، از جمله فناوری‌های سیمی و بی‌سیم امکان‌پذیر باشد. شکل ۲ این ارتباط سلسله مراتبی مه/ابر را نشان می‌دهد.



شکل ۲ اتصال IoT-Fog-Cloud (Bittencourt et al, 2018).

واحد عملکردی یک سیستم محاسباتی مه، یعنی گره مه، می تواند یک موجودیت منطقی یا فیزیکی باشد که قابلیت های محاسباتی، ذخیره سازی و همچنین شبکه را در خود جای داده است. دستگاه های مختلف، از جمله دستگاه های شبکه شامل روترها، سوئیچها، نقاط دسترسی بی سیم همراه با سایر گره های مه (مانند دوربین های نظارت تصویری و سرورهای سنتی)، می توانند به عنوان گره های مه عمل کنند. دستگاه های شبکه همچنین می توانند پردازش وظایف نزدیک تر به منابع داده را فعال کنند و عملکرد و امنیت را افزایش دهند که برای برنامه های بهداشتی، نظامی یا اضطراری حیاتی است (Mann, 2021).

داده ها در زیرساخت های IoT-Fog-Cloud باید از یک یا چند لایه عبور کنند که توسط یک شبکه مه متصل شده اند. تصمیم گیری در مورد نحوه اتصال گره های مختلف به یک سناریوی تکنولوژیکی خاص بستگی دارد. به عنوان مثال، یک گره مه که برای پردازش داده های خام از حسگرها استفاده می شود، معمولاً از اتصالات بی سیم استفاده می کند، در حالی که یک مه در کارخانه ای که برای نظارت بر فرآیندهای تولید استفاده می شود، احتمالاً از اتصالات سیمی استفاده می کند (Mann, 2021).

اتصال به ابر توسط اینترنت انجام می شود. معمولاً از پیوندهای نوری متعلق به یک ارائه دهنده خدمات اینترنتی استفاده می کند که گره های مه را به اینترنت متصل می کند در حالی که اتصال بین گره های مه مختلف احتمالاً توسط پروتکل های اترنت مانند انجام می شود. علاوه بر این، توپولوژی شبکه که گره های مه مختلف را به هم متصل می کند به نحوه قرارگیری کانال های ارتباطی در یک منطقه مشخص بستگی دارد و بنابراین توپولوژی ها و فناوری های شبکه مختلف برای اتصال گره های مه در لایه های یکسان یا متفاوت می توانند با هم وجود داشته باشند. پیوندهای بی سیم معمولاً ممکن است دستگاه های IoT را به هم متصل کنند، زیرا این دستگاه ها اغلب فقط رابط های بی سیم دارند. بسته به زیرساخت های موجود، می توان از اتصالات بی سیم نیز در اتصالات مه به مه یا مه به ابر استفاده کرد. انتظار می رود از فناوری های سلولی (3G, 4G, 5G) در سیستم های محاسباتی مه استفاده شود. به عنوان مثال، یک معماری برای محاسبات مه، به نام Telcofog، برای ادغام گره های مه در شبکه های 5G طراحی شده است. در این معماری، یک گره مه می تواند در یک شبکه لایه ایجاد شود و توسط کاربران نهایی با استفاده از اتصالات 5G قابل دسترسی باشد.

شبکه های LAN بی سیم (WLAN¹¹) نیز در استقرار گره های مه مفید هستند. با توجه به محدوده محدود آنها، می توان آنها را در گره های مه برای ساختمان های کوچک یا محوطه دانشگاه استفاده کرد (Sriraghavendra et al, 2022). از دیگر فناوری های بی سیم برای ارتباط دستگاه به مه می توان به شبکه های شخصی بی سیم (بلوتوث، زیگ بی، مادون قرمز) و ارتباطات میدان نزدیک اشاره

¹¹ Wireless Local Area Networks

کرد. علاوه بر این، انتقال بی‌سیم چندهپ برای مسیریابی داده‌ها بین حسگرها / محرک‌ها و مه نیز در ادبیات پیشنهاد شده است (Taneja and Davy, 2017).

۲-۴-۲ مدیریت اینترنت اشیا و مه

۲-۴-۲-۱ تخصیص و بهینه‌سازی منابع

تخصیص منابع یک مشکل چالش برانگیز در سیستم‌های توزیع شده بوده است و همانطور که زیرساخت‌های جدید ظاهر می‌شوند، متغیرهای جدید باید در نظر گرفته شوند. داده‌های مربوط به الزامات برنامه و ویژگی‌های زیرساخت به عنوان ورودی برای بهینه‌سازی یک تابع هدف به منظور نگاشت برنامه‌ها به منابع گرفته می‌شوند. در زیرساخت موجود است. یک زمان‌بند، نهادی است که مسئول اجرای یک مدل بهینه‌سازی است که آن داده‌ها را به عنوان ورودی می‌گیرد و یک برنامه کاربردی را به عنوان یک خروجی در منابع تولید می‌کند تا یک هدف واحد یا مجموعه‌ای از اهداف (متعارض یا غیر متضاد) را به حداکثر یا حداقل برساند. از آنجایی که مسئله زمان‌بندی به طور کلی NP-Complete است، تکنیک‌های مختلفی برای مدل‌سازی و حل آن در نشریات ارائه شده است. با وجود این، با ظهور اینترنت اشیا، دستگاه‌ها و برنامه‌های کاربردی زیادی پیشنهاد شده‌اند که ناهمگونی را در الزامات برنامه‌ها و ویژگی‌های زیرساخت به سطوح بی‌سابقه‌ای می‌رسانند. ادبیات زمان‌بندی در سیستم‌های توزیع شده نشان می‌دهد که مدل‌های زمان‌بندی و تکنیک‌های بهینه‌سازی به برنامه‌ها و زیرساخت‌ها حساس هستند. بنابراین، زمانی که ناهمگونی به هنجار تبدیل می‌شود، مانند اینترنت اشیا، زمان‌بندی‌ها باید بتوانند خود را با سناریوهای مختلف تطبیق دهند، یا زمان‌بندی‌های متعدد باید در کنار هم وجود داشته باشند تا مدل‌های بهینه‌سازی را با ویژگی‌ها و اهداف متفاوت مدیریت کنند (Sakellariou and pietri, 2016).

در حال حاضر، برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا معمولاً برای پردازش و ذخیره داده‌ها به رایانش ابری متکی هستند. تخصیص منابع در رایانش ابری از دو منظر متفاوت قابل مشاهده است: (۱) تخصیص منابع در مرکز داده ارائه‌دهنده ابر. و (۲) تخصیص برنامه‌های کاربردی به خدمات ارائه شده توسط ارائه دهندگان ابر. دیدگاه اول اغلب به عنوان یک مشکل مکان‌یابی ماشین مجازی نامیده می‌شود، که یک مسئله بهینه‌سازی است که هدف آن توزیع ماشین‌های مجازی در یک مرکز داده است. توابع هدف مشترک برای مشکل قرار دادن ماشین مجازی به حداکثر رساندن استفاده از مرکز داده، به حداقل رساندن ترافیک شبکه و به حداقل رساندن مصرف انرژی است. چشم‌انداز دوم که اغلب به عنوان زمان‌بندی برنامه از آن یاد می‌شود، مربوط به تطبیق الزامات برنامه با خدمات با در نظر گرفتن الزامات برنامه و توافقات سطح خدمات از ارائه دهندگان ابر است. اهداف مشترک در زمان‌بندی برنامه‌ها، به حداقل رساندن زمان اجرا و به حداقل رساندن هزینه‌ها است، زیرا خدمات رایانش ابری بر اساس پرداخت به ازای استفاده می‌باشند (Xu et al, 2019).

انتظار می‌رود محاسبات مه الزاماتی را برآورده کند که مراکز داده ابری قادر به انجام آن نیستند، اما با این حال زمانی که چنین الزاماتی وجود ندارد یا اجباری نیستند، به ابر متکی هستند. از این نظر، با مدل‌ها و معماری‌های مه که در ادبیات مورد بحث قرار گرفته‌اند، تحقیقاتی در مورد زمان‌بندی‌هایی که زیرساخت‌های مه را به عنوان ورودی می‌گیرند، در چند سال اخیر انجام شده است. یکی از سوالات اصلی که مطرح می‌شود این است که چگونه داده‌ها، مشاغل و سرویس‌های ناهمگن را در سراسر سلسله مراتب مه/ابر توزیع کنیم به گونه‌ای که الزامات برنامه برآورده شود و استفاده از زیرساخت کارآمد باشد و از تنگناها جلوگیری شود زیرا منابع به لبه نزدیکتر می‌شوند. زیرساخت مه محدود شده است. در چشم‌انداز اینترنت اشیا، الزاماتی مانند تأخیر می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری زمان‌بندی بازی کند، بنابراین تعیین‌کننده محل اجرای برنامه‌ها است. علاوه بر این، ترکیب برنامه‌های کاربردی ناهمگن با تحرک نیز اخیراً مورد توجه قرار گرفته است، زیرا تقاضاهای پویا در گره‌های لبه نیازمند رویکردهای پویا برای توزیع مجدد بار در سلسله مراتب مه/ابر است (Bittencourt et al, 2018).

۲-۲-۴-۲ محاسبات بدون سرور

سیستم‌های محاسباتی جدیدی که پیشنهاد می‌شوند باید بتوانند تعداد بی‌شماری از دستگاه‌های ناهمگن را مدیریت کنند که اغلب می‌توانند قابلیت‌های محاسباتی متفاوتی داشته باشند. علاوه بر این، شبکه، پهنای باند ارتباطات داده و تأخیر متفاوتی در مقایسه با لبه شبکه نزدیک به مرکز داده وجود دارد. درک اینکه کدام سرویس‌ها باید در مرکز داده ابری اجرا شوند و کدام سرویس‌ها در دستگاه‌های لبه‌ای یک چالش باقی می‌ماند (Bittencourt et al, 2018).

انتظار می‌رود محاسبات بدون سرور در سراسر سیستم‌های IoT-Fog-Edge-Cloud به عنوان توسعه‌ای از پیاده‌سازی‌های مبتنی بر ابر فعلی برای پشتیبانی از برنامه‌های IoT رشد کند. در این راستا، EdgeScale با هدف پیاده‌سازی یک مدل محاسباتی بدون سرور است که خدمات ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر و پایدار را قادر می‌سازد تا از طریق سلسله مراتب مرکز داده پراکنده شوند، بنابراین با معماری محاسبات مه سازگار است. تمرکز EdgeScale فعال کردن حرکت خودکار وضعیت برنامه از طریق سلسله مراتب است، با توجه به اینکه برنامه‌ها می‌توانند در سطوح مختلف بسته به نیاز کاربر و وضعیت فعلی شبکه اجرا شوند (Bittencourt et al, 2018, Villari et al, 2016).

۳-۲-۴-۲ مصرف انرژی

هنگام بحث در مورد مصرف انرژی در رابطه با محاسبات IoT-Fog-Cloud باید دو جنبه کلیدی در نظر گرفته شود. از یک طرف مطالعات زیادی وجود دارد که مزایایی را که اینترنت اشیا می‌تواند در کاهش مصرف انرژی در تنظیمات مختلف به ارمغان بیاورد، استدلال می‌کند. با این حال، از سوی دیگر، نشانه‌های قوی وجود دارد که فناوری‌های IoT-Fog-Cloud به تنهایی ممکن است منجر به فشارهای اضافی در مصرف انرژی شود. بدیهی است که یک ارزیابی کامل باید هزینه‌ها و مزایا را بسنجید: افزایش اندک در هزینه‌های IoT یا انرژی ابری ممکن است با صرفه‌جویی بیشتر در حوزه‌هایی که این فناوری‌ها در آن اعمال می‌شوند، جبران شود. تا آنجا که ما می‌دانیم چنین ارزیابی کل‌نگر در ادبیات وجود نداشته است، اما ممکن است مدتی طول بکشد تا مطالعات جامع در این زمینه تولید شود (Minoli et al, 2017).

فشار در مصرف انرژی را می‌توان در درجه اول در سه سطح مورد بررسی قرار داد: (i) سخت افزار و به طور کلی زیرساخت‌ها. (ii) نرم‌افزار سیستم. (iii) مدیریت داده‌ها. از نظر سخت‌افزار و زیرساخت‌ها، تمایز بین کار برای تولید تراشه‌ها یا دستگاه‌های کم مصرف و کار در سطحی که زیرساخت‌های ساخته شده با چندین تراشه یا دستگاه را در نظر می‌گیرد، مفید است. اولی شامل ویژگی‌های مختلف معماری با کارآمدی انرژی است که ممکن است شامل تکنیک‌هایی برای مقیاس‌بندی یا خنک‌سازی و لتاژ باشد. دومی شامل مجموعه وسیعی از کارها با هدف به حداقل رساندن هزینه انرژی اجرای زیرساخت‌های بزرگ مقیاس، به ویژه مراکز داده است (Zhang et al, 2021).

تعدادی از محققان بر روی مسائل نرم افزاری سیستم‌ها، به ویژه مدیریت منابع تمرکز کرده‌اند. از آنجایی که پلتفرم‌های IoT-Fog-Cloud معمولاً از منابع متعدد و ناهمگن تشکیل شده‌اند، استفاده کارآمد از چنین منابعی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر انرژی داشته باشد. در واقع، انرژی اغلب به یک ملاحظات کلیدی در انواع تکنیک‌های نگاشت و تخصیص منابع، با برخی از کارها بر مدیریت منابع برای برنامه‌ها یا خدمات خاص، تبدیل شده است. تأثیر مصرف انرژی زبان‌های برنامه نویسی مختلف ارزیابی شده است. انتظار می‌رود که این خط از تحقیقات در زمینه گسترده‌تر IoT-Fog-Cloud تشدید شود (Rehman et al, 2021).

صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی می‌تواند با مدیریت دقیق اندازه بزرگ داده‌هایی که برنامه‌های IoT-Fog-Cloud ممکن است به طور بالقوه ایجاد کنند به دست آورد. رویکردهای مختلف ممکن است شامل موارد زیر باشد: (۱) الگوریتم‌هایی برای انتقال اطلاعات آگاه از انرژی. (۲) الگوریتم‌هایی که محاسبات را با ارتباطات مبادله می‌کنند، i؛ احتمالاً از اهداف مصرف انرژی سخت‌گیرانه برای متعادل کردن این مبادله استفاده می‌کنند. یا (iii) الگوریتم‌هایی که مقدار داده‌هایی را که به طور بالقوه می‌توانند از طریق پیوندهای شبکه تولید و منتقل شوند با استفاده از نوعی معیار رضایت، محدود می‌کنند، که ممکن است شامل آستانه‌های مصرف

انرژی نیز باشد که نباید از آنها تجاوز کرد. به طور کلی، مدیریت داده‌ها به شیوه‌ای اقتصادی و اجتناب از ارتباطات پرهزینه تا حد امکان در پیوستار IoT-Fog-Cloud ممکن است منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی شود (Rehman et al, 2021).

۲-۴-۲ مدیریت داده‌های محلی

در سال‌های اخیر افزایش قابل توجهی در ایجاد و مصرف داده‌ها وجود داشته است که به سرعت بی‌سابقه‌ای رسیده است. در نتیجه، اخیراً مدیریت داده و محلی بودن توجه، قابل توجهی را به خود جلب کرده است. این مفاهیم در گذشته در زمینه‌های مختلف در محاسبات خوشه‌ای، موازی و توزیعی مورد تحقیق قرار گرفته‌اند. با این حال، آنها تا همین اواخر برای مراکز داده توزیع شده جغرافیایی مانند محاسبات ابری-مه-لبه پذیرفته نشده بودند. در اصل، این دو مفهوم به قابلیت سازماندهی و نگهداری فرآیندهای مرتبط با داده اشاره دارد که شامل کسب، پردازش، توزیع، ذخیره، حفاظت و اعتبارسنجی اطلاعات است (Chen et al, 2021). مدیریت داده شامل طراحی و استقرار سیاست‌ها، معماری‌ها و رویه‌هایی است که امکان مدیریت دقیق چرخه عمر کامل داده‌ها را فراهم می‌کند. این به طور گسترده به دو استراتژی عمومی مربوط می‌شود، استراتژی قرار دادن و استراتژی دسترسی. اولی تعریف می‌کند که داده‌ها کجا و چگونه باید توزیع شوند. این شامل تعیین تعداد کپی‌ها و بهترین گره‌ها برای ذخیره این کپی‌ها می‌شود. مورد دوم نحوه مدیریت عملیات خواندن و نوشتن توسط سیستم را توضیح می‌دهد. این استراتژی باید سازگاری بین نسخه‌های توزیع شده و نحوه دسترسی به هر نسخه از طریق شبکه را در نظر بگیرد (Chen et al, 2021). محلی بودن داده به توانایی انتقال محاسبات نزدیک به جایی که داده‌های واقعی ایجاد یا به دست می‌آیند، به جای انتقال مقادیر زیادی از داده‌ها به یک منبع محاسباتی متمرکز مربوط می‌شود. این مفهوم مخالف انتقال مستقیم تمام داده‌های خام غیرمجاز به ابر است. این مبتنی بر این واقعیت است که از نظر منابع شبکه ارزان‌تر و کارآمدتر است تا یک برنامه محاسباتی را نزدیک به داده‌هایی که روی آن کار می‌کند، جابجا و اجرا کند. این یکی از مقدمات اصلی محاسبات مه است: داشتن یک سیستم غیرمتمرکز با منابع نزدیک به کاربران نهایی. این امر به ویژه زمانی صادق است که داده‌های مورد تجزیه و تحلیل به طور قابل توجهی بزرگ باشند (Li et al, 2021).

در محاسبات مه، اخیراً به مسائل مربوط به موقعیت داده‌ها پرداخته شده است، که نشان می‌دهد ذخیره داده‌ها در لبه‌های مه می‌تواند زمان پاسخگویی را بهبود بخشد و ترافیک شبکه را کاهش دهد. یکی دیگر از جنبه‌های مثبت موقعیت داده در محاسبات مه، افزایش مسائل مربوط به امنیت و حریم خصوصی است. با عملکرد محلی، می‌توان شناخت دقیقی از دروازه‌ها داشت و به راحتی ویژگی‌های احراز هویت و مجوز را پیاده‌سازی کرد. در عین حال، از آنجا که داده‌ها و گره‌های پردازش به یکدیگر نزدیک هستند، اطلاعات نیازی به جابجایی ندارند، بنابراین حریم خصوصی را تسهیل می‌کند (Sundmaecker et al, 2010).

۲-۴-۵ تنظیمات مه برای اینترنت اشیا

همانطور که قبلاً ذکر شد، مه می‌تواند در چندین لایه سازماندهی شود و در سراسر موجودیت‌های مختلف پخش شود و یک سناریوی بسیار پویا، مقیاس بزرگ، ناهمگن و پیچیده ایجاد کند. در درون این اکوسیستم چالش‌های جدیدی از نظر مدیریت منابع پویا و عملکردهای ارکستراسیون بوجود می‌آیند. همانطور که در این بخش توضیح داده شده است، این چالش‌ها به روش‌های مختلف در ادبیات بررسی می‌شوند. هدف اصلی توابع تنظیم مه شامل مدیریت پویا منابع با در نظر گرفتن الزامات برنامه‌ها و ویژگی‌های بار کاری مرتبط است که در بسیاری از موارد شامل یک رفتار عملیاتی گذرا است. منابع مه شامل حسگرهای اصلی، CPU و اجزای حافظه، ماشین‌های مجازی و عملکردهای شبکه مجازی، و همچنین خدمات شبکه و برنامه‌ها و سرویس‌های میکرو می‌شوند. بنابراین نقش ارکستراسیون مه تضمین عملکرد مناسب همه این منابع و در عین حال تضمین امنیت و سطح عملکرد مناسب برنامه است.

برای دستیابی به اهداف خود، یک تنظیم کننده مه باید وظایف زیر را انجام دهد (Bittencourt et al, 2018).

زمان‌بندی و قرار دادن - نقش اصلی زمان‌بندی و قرار دادن این است که تصمیم بگیرد کدام برنامه‌ها باید در کجا و چه زمانی اجرا شوند. برای تحقق این هدف باید طیفی از اطلاعات، مانند الزامات برنامه‌ها، در دسترس بودن منابع و الگوهای تحرک را در نظر گیرد. در لبه، تنظیم کننده همچنین باید زمان‌بندی را از نیاز به انتقال وظایف و داده‌ها آگاه کند.

کشف و تخصیص - برای پشتیبانی از برنامه‌ریزی، بسیار مهم است که ارکستراتور اطلاعات مربوط به منابع و دستگاه‌های موجود در مه را به روز کرده باشد. علاوه بر این، تخصیص منابع باید بر اساس معیارهای بهینه‌سازی انجام شود که با نیازهای برنامه‌ها مطابقت دارد. مبادلات متعدد در این زمینه به دلیل پیچیدگی عملکردهای درگیر ایجاد می‌شود. اطلاعات به روز ارائه شده توسط ارکستراتور، الگوریتم زمان‌بندی را به سمت تابع بهینه‌سازی هدایت می‌کند. تنظیم کننده مه با اهداف متفاوتی مانند کاهش تأخیر، بهبود انعطاف‌پذیری، تضمین امنیت و حریم خصوصی، در نشریات معرفی شده اند (Bittencourt et al, 2018).

۳- چالش‌های موجود در کاربردهای IoT-Fog-Cloud

در این بخش، چندین کاربرد مهم در سناریوهای ترکیبی از اینترنت اشیا، مه و محاسبات ابری و چالش‌های موجود را ارائه می‌کنیم.

۳-۱ اینترنت اشیا و مه برای 5G

در حالی که انتظار می‌رود اولین استقرار 5G در چند سال آینده انجام شود، چالش‌های متعددی در مورد اینکه چگونه این استقرارها از خدمات اینترنت اشیا یکپارچه با محاسبات ابری و مه پشتیبانی می‌کنند، باقی می‌ماند. برخی از این چالش‌ها در زیر بیان شده است.

در 5G، برای تحقق ایده برش شبکه در پشتیبانی از مجموعه‌ای از خدمات با الزامات عملکردی خاص، نیاز به مدیریت سراسر منابع در سراسر حوزه‌های بی‌سیم، نوری، بسته‌ها، گره‌های مه و ابر است. پیشرفت‌های اخیر در مجازی‌سازی شبکه، نقشه راه را برای این امر فراهم می‌کند، اما آنها هنوز به هماهنگی یکپارچه منابع در تمام آن حوزه‌ها دست پیدا نکرده‌اند. همانطور که قبلاً ذکر شد، برش یک ویژگی کلیدی مورد انتظار 5G است، بعید است که در استقرار اولیه این فناوری به طور کامل محقق شود (Bittencourt et al, 2018).

۳-۲ چالش‌های رایانش بدون سرور

مدیریت میکروسرویس‌ها در سراسر سلسله مراتب IoT-Fog-Cloud چالش‌های مرتبط با حرکت سرویس‌ها در میان دستگاه‌های اینترنت اشیا، مه و ابر را ارائه می‌دهد. انطباق خودکار اجرای ریزسرویس‌ها باید مکان و زمینه استقرار را در نظر بگیرد، اما همچنین نباید از محدودیت‌های منابعی که ممکن است در هر سطح از مه وجود داشته باشد غافل شود. برای دستیابی به این سازگاری خودکار و شفاف، پیکربندی مجدد خدمات که کیفیت خدمات مورد نیاز را در نظر می‌گیرد یک چالش است، که در آن می‌توان رویکرد رتبه‌بندی خدمات را پیاده‌سازی کرد، به عنوان مثال، برای کمک به تصمیم‌گیری چند معیاره در طول پیکربندی مجدد. ناهمگونی شبکه در سراسر اکوسیستم IoT-Fog-Cloud برای استقرار و پیکربندی مجدد میکروسرویس‌ها نیز چالش برانگیز است. سرویس‌های مستقل می‌توانند نیازمندی‌های شبکه برای منابع داده باشند که می‌تواند از طریق فناوری‌های شبکه مانند مجازی‌سازی شبکه و شبکه‌های تعریف‌شده نرم‌افزار (SDN) به دست آید. در این مورد، نیاز به پیکربندی مجدد خدمات شامل پیکربندی مجدد شبکه برای اطمینان از باقی ماندن الزامات است. از سوی دیگر، ترکیب سرویس‌ها با نیازمندی‌های مختلف نیز می‌تواند به صورت عمودی در سلسله مراتب اعمال شود، که در آن پیکربندی مجدد سرویس‌ها (و شبکه، در صورت لزوم) به دلیل ناهمگونی سرویس‌ها از نظر نیازها و الزامات محاسباتی، حتی پیچیده‌تر است (به عنوان مثال، تاخیر) (Bittencourt et al, 2018).

۳-۳ چالش‌های تخصیص و بهینه‌سازی منابع

بهینه‌سازی در تخصیص منابع با افزایش تعداد متغیرها و همچنین زمانی که این متغیرها در طول زمان بیشتر تغییر می‌کنند، چالش برانگیزتر می‌شود. ترکیب دستگاه‌ها در پیوستار IoT-Fog-Cloud متغیرهای جدیدی را به همراه می‌آورد زیرا ناهمگونی دستگاه‌ها و برنامه‌ها به سطوح بی‌سابقه‌ای می‌رسد. علاوه بر این، انتظار می‌رود توپولوژی شبکه به طور مداوم با تحرک دستگاه و الزامات برنامه متغیر تغییر کند و رفتار پویاتری را به سیستم معرفی کند. این ماهیت پویای سیستم به همراه سطوح بالای ناهمگنی مستلزم استراتژی‌های تخصیص منابع پویا و چند معیاره است که می‌تواند با محیط دائما در حال تغییر کنار بیاید. سیستم‌های مدیریت منابع و زمان‌بندی‌های چند معیاره که می‌توانند به سرعت تخصیص منابع را در مواجهه با چنین تغییراتی بهینه کنند، چالش برانگیز هستند، زیرا تعداد متغیرها می‌توانند به طور تصاعدی فضای جستجو را افزایش دهند که منجر به زمان‌بندی طولانی اجرای زمان‌بندی می‌شود. یک معاوضه بین زمان‌بندی بهینه و زمان چرخش تصمیم‌گیری در حالت ایده‌آل باید به الزامات کاربر و برنامه، مانند مهلت‌ها و تاخیرهای قابل قبول بستگی داشته باشد. یک زمان‌بندی پارامتری برای سنجش رضایت‌بخش چنین مبادلاتی در پیوستار IoT-Fog-Cloud هنوز مدل‌سازی و توسعه داده نشده است (Bittencourt et al, 2018).

۳-۴ چالش‌های مصرف انرژی

یک جهت مهم برای تحقیقات آینده در به حداقل رساندن مصرف انرژی باید بر بررسی جزئیات بیشتر نقش و تأثیر داده‌ها در اکوسیستم IoT-Cloud-Fog، در امتداد خطوطی که به عنوان "مدیریت داده‌های اقتصادی" نامیده می‌شود، تمرکز کند. ایده باید این باشد که اهمیت انواع مختلف داده‌ها را با جزئیات بررسی کنیم و اینکه آیا همه داده‌ها همیشه مورد نیاز هستند یا خیر. این امر مستلزم ارزیابی‌های دقیق از این است که هر چند وقت یک‌بار ممکن است تولید، انتقال، ذخیره یا پردازش انواع مختلف داده‌ها ضروری باشد. با مرتبط کردن استراتژی‌های مدیریت داده‌های مختلف با هزینه مصرف انرژی مربوطه، هدف باید یافتن راه‌حل‌های بهینه پارتو باشد. به این ترتیب، علاوه بر اجتناب از راه‌حل‌های غیربهینه، برنامه‌ها می‌توانند به صورت تطبیقی عمل کنند و مبادلات مناسبی را که در قسمت پارتو قرار دارند، مطابق با نیاز کاربر یا سیستم انتخاب کنند. این نوع تحقیقات به کار قابل توجهی در ساخت و پیوند مدل‌های مصرف انرژی مناسب برای همه اجزای مختلف اکوسیستم IoT-Fog-Cloud نیاز دارد (Bittencourt et al, 2018).

۳-۵ چالش‌های مدیریت داده و محلی

چندین موضوع باز مرتبط با مدیریت داده و موقعیت مکانی در سیستم‌های محاسباتی IoT-Fog-Cloud وجود دارد. اول از همه، این سیستم‌ها معمولاً از مجموعه گسترده‌ای از فناوری‌های ارتباطی ناهمگن مانند سلولی، بی‌سیم، سیمی و فرکانس رادیویی تشکیل شده‌اند. این بدان معناست که هماهنگ‌سازی سیستم‌ها باید بتواند شبکه‌های زیربنایی متمایز و همچنین طرح‌های آدرس-دهی مختلف را مدیریت کند. متمرکز کردن تمام منابع در ابر تا حدی برخی از مسائل مانند در دسترس بودن، مقیاس‌پذیری و قابلیت همکاری را حل می‌کند، با این حال، موارد جدیدی را معرفی می‌کند، به عنوان مثال، ازدحام شبکه و تأخیر بالاتر، که می‌تواند با مه و محاسبات لبه کاهش یابد. یکی از مسائل این است که چگونه می‌توان مبادله بین قرار دادن داده‌ها و خدمات در سطح ابر یا مه را اندازه‌گیری و کمی کرد.

یک رویکرد رایج برای بهبود این موضوع از طریق قرار دادن سرویس هوشمند است. به این ترتیب می‌توان با قرار دادن سرویس‌های مورد نیاز نزدیک به داده‌هایی که روی آن‌ها فعالیت می‌کند، محلی بودن داده را فراهم کرد. با این حال، یکی از مسائل باز در اینجا نحوه انتخاب سرویس‌هایی است که قرار است در گره‌های لبه قرار گیرند و برای چه مدتی. برنامه‌هایی که به قدرت پردازش بالایی نیاز ندارند و نیاز به تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ دارند، کاندیدای خوبی هستند. از سوی دیگر، چندین برنامه تعاملی، مانند واقعیت افزوده، ممکن است به قدرت پردازش بالا و زمان تأخیر بسیار کم نیاز داشته باشند، بنابراین آن‌ها نیز کاندیدای خوبی هستند. به همین دلیل، انتخاب بهترین نامزدها یک کار پیچیده است. بدتر از آن، اگر تنوع داده‌هایی که باید منتقل یا تجزیه و

تحلیل شوند و انبوهی از فناوری‌های ارتباطی در نظر گرفته شود، مشکل پیچیده‌تر می‌شود و نیاز به توسعه استراتژی‌های بهینه‌سازی چند معیاره پیچیده‌تر می‌شود (Bittencourt et al, 2018).

۴- روش‌های پیشین

در (Naha et al, 2020)، برای پرداختن به مشکل برآورده کردن نیازهای کاربر پویا مبتنی بر مهلت، الگوریتم‌های تخصیص و تأمین منابع با استفاده از رتبه‌بندی منابع و ارائه منابع به صورت ترکیبی و سلسله مراتبی پیشنهاد شده است. الگوی محاسبات مه در پشتیبانی از برنامه‌های حساس به زمان که به خدمات اینترنت هوشمند اشیا مرتبط هستند، مانند شهر هوشمند و مراقبت‌های بهداشتی هوشمند، برجسته می‌شود. اگرچه رایانش ابری یک الگوی امیدوارکننده برای IoT در پردازش داده است، اما به دلیل محدودیت تأخیر بالای ابر، نمی‌تواند الزامات برنامه‌های حساس به زمان را برآورده کند. تخصیص و تأمین منابع در محیط مه-ابر، با در نظر گرفتن تغییرات پویا در نیازهای کاربر و منابع محدود موجود در دستگاه‌های مه، یک کار چالش‌برانگیز است. در میان تغییرات پویا در پارامترهای مورد نیاز کاربر، مهلت، مهم‌ترین چالش در محیط محاسبات مه است. کارهای کنونی روی محاسبات مه، بدون در نظر گرفتن تغییرات پویا در نیازهای کاربران، به تأمین منابع می‌پردازد. الگوریتم‌های پیشنهادی در یک محیط شبیه‌سازی با گسترش جعبه‌ابزار CloudSim برای شبیه‌سازی یک محیط مه واقعی ارزیابی می‌شوند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های موجود از لحاظ زمان کلی پردازش داده، هزینه نمونه و تأخیر شبکه، با افزایش تعداد ارسال‌های برنامه، بهتر است.

در (Azizi et al, 2022)، به صورت ریاضی مسئله زمان‌بندی کار برای به حداقل رساندن مصرف انرژی کل گره‌های مه (FNs^{12}) در حالی که الزامات کیفیت خدمات (QoS^{13}) وظایف IoT را برآورده می‌کنیم، فرموله می‌کنیم با پیشرفت سریع دستگاه‌های اینترنت اشیا، انواع برنامه‌های اینترنت اشیا که نیاز به پاسخگویی بلادرنگ و تأخیر کم دارند، پدیدار شده‌اند. محاسبات مه به یک پلت فرم مناسب برای پردازش برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا در حال ظهور تبدیل شده است. باین‌حال، دستگاه‌های محاسباتی مه معمولاً توزیع شده، پویا و محدود به منابع هستند، بنابراین استقرار منابع محاسباتی مه به طور مؤثر برای اجرای وظایف ناهمگن و حساس به تأخیر اینترنت اشیا یک چالش اساسی است. همچنین به حداقل رساندن زمان نقض مهلت در این مدل در نظر گرفته شده است. در مرحله بعد، دو الگوریتم مبتنی بر نیمه حریص، یعنی نیمه حریص با اولویت (PSG^{14}) و PSG با رویه چند شروع برای ترسیم کارآمد وظایف اینترنت اشیا به FNها پیشنهاد شده است. عملکرد رویکردهای زمان‌بندی در این کار با توجه به درصد وظایف IoT که نیاز ضرب‌الاجل‌شان، مصرف انرژی کل، زمان نقض مهلت کل و ساخت سیستم را برآورده می‌کنند، ارزیابی شده است.

در (Zhou et al, 2019)، برای مقابله با مشکل بار نامتعادل و نادیده گرفتن اولویت کار در الگوریتم‌های زمان‌بندی کار قبلی، یک الگوریتم زمان‌بندی کار به نام P-Min-Min-Max پیشنهاد شده است که با اولویت و استراتژی حریص ترکیب می‌شود. تحت شرط در نظر گرفتن اولویت کار، الگوریتم از زمان اجرای وظایف برای استراتژی حریصانه استفاده می‌کند و کار بزرگ و کار کوچک را در لیست کارها برای تشکیل "جفت وظیفه" برای انجام زمان‌بندی، به گونه‌ای که به طور مؤثر مشکل را حل می‌کند، استفاده می‌کند. بار نامتعادل برای کاهش میانگین زمان پاسخگویی وظایف، اولویت الگوریتم، کار کوچک را از «جفت وظیفه» زمان‌بندی می‌کند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که در مقایسه با الگوریتم Min-Min و P-Min-Min، الگوریتم پیشنهادی استفاده از منابع سیستم و کیفیت خدمات کاربر را بهبود می‌بخشد و در کل زمان اجرا برای وظایف صرفه‌جویی می‌کند. در مقایسه با الگوریتم

¹² Fog Nodes

¹³ Quality of Service

¹⁴ priority-aware semi-greedy

Max-Min و P-Max-Min، الگوریتم پیشنهادی استفاده از منابع سیستم و کیفیت خدمات کاربر را بهبود می بخشد و زمان تکمیل کل و زمان متوسط پاسخ را کاهش می دهد.

در (Sun et al, 2020) یک معماری کلی IoT-fog-cloud پیشنهاد شده است که به طور کامل از مزایای مه و ابر استفاده می کند. در این روش، تخلیه بار و تخصیص منابع محاسبات کارآمد انرژی و زمان در مسئله کمینه سازی هزینه انرژی و زمان فرموله می شود. سپس یک الگوریتم برای حل مشکل، بهبود مصرف انرژی و زمان تکمیل درخواست های برنامه پیشنهاد شده است. در نهایت، شبیه سازی های گسترده ای انجام می شود تا تأیید شود که روش پیشنهادی واقعاً بهتر از دو روش دیگر در کاهش مصرف انرژی و زمان تکمیل درخواست ها عمل می کند.

در (Yakubu et al, 2021)، یک الگوریتم مکان یابی وظیفه مبتنی بر یادگیری پیشنهاد شده است از شبکه عصبی پیشرو نظارت شده برای تشخیص کاربردهای حیاتی تأخیر استفاده می کند. این الگوریتم در دو فاز اجرا می شود. در مرحله اول، ویژگی های وظایف به عنوان ورودی این چارچوب مبتنی بر یادگیری ماشینی برای تصمیم گیری در مورد زمان بندی کار در محیط مه یا ارسال آن به ابر برای اجرا عمل می کنند. در مرحله دوم اگر وظایف در زمان مه برنامه ریزی شده باشد، وظایف در صف مه بر اساس اولویت برای دستیابی به بهینه ترین استفاده از منابع مرتب می شوند.

در (Sriraghavendra et al, 2022)، برای حل مسئله وظایف دارای مهلت سخت، یک معماری محاسباتی مه چندلایه جدید به نام (DoSP¹⁵) پیشنهاد می کند که خدمات را هم در گره های مه و هم در ابر ارائه می کند. این کار تحقیقاتی روشی را برای استفاده از منابع مه کم هزینه پیشنهاد می کند و در عین حال اطمینان می دهد که زمان پاسخ یک محدودیت زمانی معین را برآورده می کند. از الگوریتم ژنتیک برای تعیین پویا محل قرارگیری سرویس در محیط مه استفاده می کند. در جدول ۱ به بررسی روش های پیشین خواهیم پرداخت.

جدول ۱. بررسی الگوریتم های زمان بندی در بستر اینترنت اشیاء - مه - ابر

عنوان مقاله	مزایا	معایب
در مقاله (Naha et al, 2020)	بررسی مهلت اجرای وظایف بهینه سازی زمان اجرای وظایف کاهش هزینه اتمام وظایف	عدم توجه به انرژی مورد نیاز برای اتمام وظایف در مراکز داده ابری
در مقاله (Azizi et al, 2022)	بررسی مهلت اجرای وظایف بهینه سازی زمان اجرای وظایف	عدم توجه به انرژی و هزینه مورد نیاز برای اتمام وظایف
در مقاله (Zhou et al, 2019)	اولویت بندی وظایف بر اساس طول اجرا بهینه سازی زمان اجرای وظایف	عدم توجه به مهلت اجرای وظایف
در مقاله (Sun et al, 2020)	بهینه سازی زمان اجرای وظایف بهینه سازی انرژی لازم برای اتمام وظایف در مراکز داده ابری	عدم توجه به مهلت اجرای وظایف عدم توجه به هزینه مورد نیاز برای اتمام وظایف
در مقاله (Yakubu et al, 2021)	بهینه سازی زمان اجرای وظایف بهینه سازی انرژی لازم برای اتمام وظایف در مراکز داده ابری بهینه سازی هزینه لازم برای اجرای وظایف	عدم توجه به مهلت اجرای وظایف
در مقاله (Sriraghavendra et al, 2022)	بررسی مهلت اجرای وظایف بهینه سازی زمان اجرای وظایف	عدم توجه به انرژی و هزینه مورد نیاز برای اتمام وظایف

¹⁵ Deadline-oriented Service Placement

۵- نتیجه گیری

اینترنت اشیا یک فناوری حیاتی است که به کاربران اجازه می‌دهد تا با دنیای پیرامون خود ارتباط برقرار کنند و اینترنت را به جایی برسانند که دسترسی به داده‌هایی که توسط اشیا جمع‌آوری شده است، ممکن باشد. با این حال، با توجه به حجم بسیار زیاد داده‌ها، نیاز به فناوری‌های پیشرفته‌تر برای پردازش و تحلیل داده‌ها نیز وجود دارد. از جمله مزایای اینترنت اشیا، می‌توان به بهبود کارایی، پایداری، افزایش کیفیت زندگی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش هزینه‌ها و افزایش امنیت اشاره کرد. اینترنت اشیا همچنین می‌تواند در بهبود مدیریت شهری، مانیتورینگ محیط زیست، بهبود کارایی صنعت، ساختمان‌های هوشمند و خانه‌های هوشمند کمک کند. با این حال، همانطور که اینترنت اشیا به عنوان یک فناوری رو به رشد است، نگرانی‌هایی درباره حفظ حریم خصوصی و امنیت داده‌ها نیز وجود دارد. بسیاری از داده‌هایی که توسط اینترنت اشیا جمع‌آوری می‌شوند، حاوی اطلاعات حساسی هستند که اگر در دسترس قرار گیرند، می‌تواند به تهدید امنیت شخصی کاربران منجر شود. به همین دلیل، ضروری است که توسعه‌دهندگان برنامه‌های مبتنی بر اینترنت اشیا توجه زیادی به حریم خصوصی و امنیت داده‌ها داشته باشند. حسگرهای تعبیه شده در دستگاه‌های متصل به اینترنت توانایی محدودی برای ذخیره‌سازی و پردازش داده‌های حس شده دارند. از این رو نیاز به رسانه‌های کمکی برای ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها است. رایانش ابر و مه از جمله رسانه‌های جانبی هستند که این محدودیت‌ها را برطرف می‌کنند. از سوی دیگر حجم داده‌های ارسالی و وظایف پردازشی به ابر موجب ایجاد فضای رقابتی شده است که نیاز به مدیریت موثر و زمان‌بندی مناسب دارد. حسگرهای تعبیه شده در دستگاه‌های متصل به اینترنت توانایی محدودی برای ذخیره‌سازی و پردازش داده‌های حس شده دارند و به روش‌های دیگری برای ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها نیاز است. یکی از راه‌حل‌های مناسب برای مدیریت و پردازش داده‌های اینترنت اشیا، استفاده از رایانش ابری و مه است. در این مقاله کلیات زمانبندی در بستر اینترنت اشیا-مه-ابر بررسی شد و چندین روش در این زمینه مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت.

۶- منابع

- Bittencourt, L., et al. (2018). *The internet of things, fog and cloud continuum: Integration and challenges*. Internet of Things, 2018. **3**: p. 134-155.
- Mouradian, C., et al. (2017). *A comprehensive survey on fog computing: State-of-the-art and research challenges*. IEEE communications surveys & tutorials. **20**(1): p. 416-464.
- Sundmaeker, H., et al. (2010). *Vision and challenges for realising the Internet of Things*. Cluster of European research projects on the internet of things, European Commission. **3**(3): p. 34-36.
- Duan, Y., et al. (2015). *Everything as a service (XaaS) on the cloud: origins, current and future trends*. in *2015 IEEE 8th International Conference on Cloud Computing*. IEEE.
- Bittencourt, L.F., E.R. Madeira, and N.L. Da Fonseca. (2012). *Scheduling in hybrid clouds*. IEEE Communications Magazine. **50**(9): p. 42-47.
- Mahmood, Z. and M. Ramachandran. (2018). *Fog computing: Concepts, principles and related paradigms*, in *Fog computing: concepts, frameworks and technologies*. Springer. p. 3-21.
- Mann, Z.Á. (2021). *Notions of architecture in fog computing*. Computing, 2021. **103**(1): p. 51-73.
- Wang, B., et al. (2015). *A survey on data center networking for cloud computing*. Computer Networks. **91**: p. 528-547.
- Taneja, M. and A. Davy. (2017). *Resource aware placement of IoT application modules in Fog-Cloud Computing Paradigm*. in *2017 IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM)*. IEEE.
- Pietri, I. and R. Sakellariou. (2016). *Mapping virtual machines onto physical machines in cloud computing: A survey*. ACM Computing Surveys (CSUR). **49**(3): p. 1-30.
- Xu, R., et al. (2018). *Improved particle swarm optimization based workflow scheduling in cloud-fog environment*. in *Business Process Management Workshops: BPM 2018 International Workshops, Sydney, NSW, Australia, September 9-14, 2018, Revised Papers 16*. 2019. Springer.
- Villari, M., et al. (2016). *Osmotic computing: A new paradigm for edge/cloud integration*. IEEE Cloud Computing. **3**(6): p. 76-83.
- Minoli, D., K. Sohrawy, and B. Occhiogrosso. (2017) *IoT considerations, requirements, and architectures for smart buildings—Energy optimization and next-generation building management systems*. IEEE Internet of Things Journal. **4**(1): p. 269-283.
- Zhang, Q., et al. (2021). *A survey on data center cooling systems: Technology, power consumption modeling and control strategy optimization*. Journal of Systems Architecture. **119**: p. 102253.
- Rehman, A.U., et al. (2021). *An optimal power usage scheduling in smart grid integrated with renewable energy sources for energy management*. IEEE Access. **9**: p. 84619-84638.
- Chen, L., S. Liu, and B. Li. (2021). *Optimizing network transfers for data analytic jobs across geo-distributed datacenters*. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. **33**(2): p. 403-414.
- Li, X., et al. (2021). *MapReduce task scheduling in heterogeneous geo-distributed data centers*. IEEE Transactions on Services Computing.
- Naha, R.K., et al. (2020). *Deadline-based dynamic resource allocation and provisioning algorithms in fog-cloud environment*. Future Generation Computer Systems. **104**: p. 131-141.
- Azizi, S., et al. (2022). *Deadline-aware and energy-efficient IoT task scheduling in fog computing systems: A semi-greedy approach*. Journal of network and computer applications, 2022. **201**: p. 103333.
- Zhou, Z., H. Xie, and F. Li. (2019). *A novel task scheduling algorithm integrated with priority and greedy strategy in cloud computing*. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. **37**(4): p. 4647-4655.
- Sun, H., et al. (2020). *Energy and time efficient task offloading and resource allocation on the generic IoT-fog-cloud architecture*. Peer-to-Peer Networking and Applications. **13**(2): p. 548-563.
- Yakubu, I.Z., et al. (2021). *A Multi Agent Based Dynamic Resource Allocation in Fog-Cloud Computing Environment*. Trends in Sciences. **18**(22): p. 413-413.
- Sriraghavendra, M., et al. (2022) *DoSP: A Deadline-Aware Dynamic Service Placement Algorithm for Workflow-Oriented IoT Applications in Fog-Cloud Computing Environments*, in *Energy Conservation Solutions for Fog-Edge Computing Paradigms*. Springer. p. 21-47.



A Review of Scheduling in the Internet of Things-Fog-Cloud Platform: Overview, Architecture, and Challenges

Sara Hosseinpour

Computer Engineering, Ardabil Branch, Islamic
Azad University, Ardabil, Iran

Shiva Razzaghzadeh

Computer Engineering, Ardabil Branch, Islamic
Azad University, Ardabil, Iran

Babak Nouri Moghaddam, Computer Engineering, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran

Abstract

The Internet of Things (IoT) technology is continuously growing, and the volume of data received from the environment on this platform is increasing significantly. On the other hand, utilizing these data requires storage and processing. Additionally, the overloaded information in the cloud and the necessity for lightweighting the cloud through fog computing have posed numerous challenges for fog computing. The raw data sent to the fog from smart devices in the IoT must reach the cloud comprehensively and meaningfully to prevent the violation of service quality parameters. On the other hand, due to the heterogeneity of sensors used in the IoT platform, processing tasks have different natures and may have different execution times depending on the conditions. Therefore, processing tasks require appropriate resources to minimize response time to tasks. In this regard, sorting tasks based on their features and scheduling them on appropriate resources is essential for improving the quality of service objectives. This is introduced as a primary requirement for cloud servers in this paper. Therefore, in this paper, scheduling methods in the IoT-Fog-Cloud platform are assessed.

Keywords: Internet of Things, cloud computing, fog computing, scheduling.