Archive of SID

مقاله پژوهشی

ارائه یک روش کارا برای تخصیص منابع در رایانش مه با در نظر گرفتن شرایط ازدحام درخواست‌ها

سمیرا انصاری مقدم، سمیرا نوفرستی و مهری رجائی

چکیده: مراکز داده ابر به دلیل فاصله زیاد از کاربران نهایی اغلب در مواجه‌شدن با میلیون‌ها درخواست ذخیره‌سازی و پردازشی حساس به تأخیر، ناموفق عمل می‌کنند. درخواست‌های حساس به تأخیر نیاز دارند که پاسخ خود را حتی در شرایط ازدحام درخواست‌ها در شبکه، قبل از به اتمام رسیدن مهلت زمانی از پیش تعیین شده دریافت کنند. برای رفع این نیاز، معماری رایانش مه معرفی شد که سرویس‌های محاسباتی، ذخیره‌سازی و ارتباطی را در لبه شبکه برای کاربران فراهم می‌کند. از جمله چالش‌های رایانش مه چگونگی تخصیص منابع گره‌های مه و ابر به درخواست‌های کاربران در شرایط ازدحام، برای رسیدن به بیشترین نرخ پذیرش و کمترین زمان پاسخ درخواست‌ها است. گره‌های مه قدرت پردازشی و ذخیره‌سازی محدودی دارند و در نتیجه در شرایط ازدحام درخواست‌ها، کارایی مناسبی ندارند. در این مقاله روشی کارا برای تخصیص منابع در رایانش مه پیشنهاد می‌شود که به منظور مقابله با چالش مذکور، با توجه به وضعیت منابع آزاد گره و شرایط ازدحام، در مورد محل قرارگیری و اجرای درخواست (گره مه یا ابر) تصمیم‌گیری می‌کند. بر اساس آزمایش‌های صورت‌گرفته، روش پیشنهادی بر اساس معیارهای متوسط زمان پاسخ و درصد درخواست‌های لغوشده عملکرد بهتری در مقایسه با سایر روش‌ها دارد.

کلیدواژه: **ازدحام درخواست‌ها، تخصیص منابع، رایانش مه، زمان‌بندی، قرارگیری درخواست.**

۱- مقدمه

از زمانی که کوین اشتون[1] برای نخستین بار در سال ۱۹۹۹ واژه اینترنت اشیا (IoT)[2] را برای توصیف جهانی از اشیای دارای هویت دیجیتال با امکان سازماندهی و مدیریت توسط رایانه‌ها به کار برد، تا به امروز تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام گرفته و پیشرفت‌های چشم‌گیری از نظر تکنولوژی حاصل شده است [۱]. از جمله دشواری‌های حوزه اینترنت اشیا، تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها برای تبدیل داده‌های خام به اطلاعات و به کارگیری اطلاعات حاصل جهت افزایش سرعت پردازش و تصمیم‌گیری برای بهبود عملکرد سیستم است. رایانش ابری[3] با فراهم‌کردن فضای ذخیره‌سازی و قدرت پردازشی بالا می‌تواند برای تقابل با این چالش بسیار مفید باشد [۲]. با وجود این، به دلیل این که مراکز داده ابر نسبت به کاربران نهایی فاصله دارند، اغلب هنگام مواجه‌شدن با میلیون‌ها درخواست ذخیره‌سازی و پردازشی به ویژه برای کاربردهای حساس به تأخیر (کاربردهایی که دارای مهلت زمانی هستند و رسیدگی به آنها باید قبل از مهلت مقرر انجام شود) ناموفق عمل می‌کنند. این در حالی است که برخی کاربردها از قبیل سیستم سلامت هوشمند به زمان پاسخ بسیار کوتاه احتیاج دارند و تأخیر ناشی از انتقال اطلاعات به ابر غیر قابل قبول است.

برای حل مشکلات مذکور رایانش مه[4] معرفی شده است. رایانش مه یک الگوی محاسباتی است که به عنوان لایه میانی بین ابر و دستگاه‌های IoT (سنسورها و عملگرها) واقع می‌شود و از مزایای مجاورت با کاربران نهایی، توزیع جغرافیایی وسیع‌تر و پشتیبانی از تحرک برخوردار است. هدف رایانش مه انتقال منابع رایانشی به مجاورت کاربران نهایی است تا علاوه بر افزایش کیفیت سرویس، در پهنای باند مصرفی زیرساخت نیز صرفه‌جویی شود. بر خلاف ابر، دیگر احتیاجی به ارسال همه درخواست‌های حساس به تأخیر از هسته شبکه به ابر نیست و این درخواست‌ها می‌توانند در گره‌های مه پردازش و ذخیره‌سازی شوند. در نتیجه پرداختن به تقاضای هزاران سرویس IoT می‌تواند به راحتی و با تأخیر بسیار کمتر نسبت به ابر فراهم گردد.

یکی از چالش‌های رایانش مه چگونگی تخصیص منابع محدود گره‌های مه به درخواست‌های کاربران، برای رسیدن به بیشترین نرخ پذیرش و کمترین زمان پاسخ درخواست‌ها است. یک گره مه، دارای تجهیزات عمومی محدود با قابلیت ذخیره‌سازی، محاسبات و ارتباطات است. یکی از نیازهای رایانش مه این است که منابع گره‌های مه باید به شیوه‌ای عادلانه، کارا و با توجه به برخی اولویت‌ها در میان درخواست‌های کاربران، توزیع گردد. وجود منابع محدود و لزوم تخصیص به موقع منابع در کاربردهای حساس به تأخیر، مدیریت و تخصیص منابع را به مسئله‌ای چالش‌برانگیز تبدیل کرده است.

در این مقاله، روشی کارا برای تخصیص منابع در رایانش مه با هدف کاهش زمان پاسخ و افزایش نرخ پذیرش درخواست‌های کاربران، به ویژه برای درخواست‌های با اولویت بالا (درخواست‌های حساس به تأخیر) پیشنهاد می‌شود. نوآوری‌های روش پیشنهادی به اختصار عبارتند از:

- در نظر گرفتن معماری سلسله‌مراتبی رایانش مه، نقش کمکی ابر و ظرفیت گره‌های مه برای تعیین مکان مناسب پردازش درخواست‌های کاربران

این مقاله در تاریخ ۲ خرداد ماه ۱۳۹۹ دریافت و در تاریخ ۱ فروردین ماه ۱۴۰۰ بازنگری شد.

سمیرا انصاری مقدم (نویسنده مسئول)، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، (email: samira.ansary96@gmail.com).
سمیرا نوفرستی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، (email: snoferesti@ece.usb.ac.ir).
مهری رجائی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، (email: rajayi@ece.usb.ac.ir).

1. Kevin Ashton
2. Internet of Things
3. Cloud Computing
4. Fog Computing

www.SID.ir

Archive of SID

- پیش‌بینی اوج بار کاری در گره مه و در نظر گرفتن آن در روش پیشنهادی برای تخصیص منابع در شرایط ازدحام

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی برای تخصیص منابع، موجب کاهش زمان پاسخ، کاهش تعداد درخواست‌های لغوشده، استفاده بهتر از منابع مه و در نتیجه افزایش رضایت کاربران می‌شود.

سازماندهی ادامه مقاله به شرح زیر است: در بخش ۲ پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه تخصیص و زمان‌بندی منابع در رایانش مه معرفی و دسته‌بندی می‌شوند. در بخش ۳ جزئیات روش پیشنهادی برای تخصیص منابع در رایانش مه بیان می‌شود. در بخش ۴ نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام‌گرفته به منظور ارزیابی روش پیشنهادی ارائه می‌گردد. در انتها، در بخش ۵ چالش‌ها، جهت‌های آینده و نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

۲- مرور کارهای پیشین

به صورت کلی تحقیقات پیشین در زمینه تخصیص منابع در رایانش مه را می‌توان بر اساس رویکرد اتخاذی به سه دسته روش‌های فراابتکاری، روش‌های متکی بر ریاضیات و روش‌های مبتنی بر داده‌کاوی تقسیم کرد.

روش‌های فراابتکاری برای تخصیص منابع گره‌های مه به درخواست‌های کاربران در تکرارهای ابتدایی به صورت تصادفی عمل کرده و به تدریج سعی در بهبود راه حل با توجه به یک تابع شایستگی از پیش تعریف شده دارند. رونگ بیو خو[1] و همکاران [۳] از الگوریتم ازدحام ذرات[2] جهت حل مسئله زمان‌بندی با هدف کاهش هزینه و کاهش زمان اتمام وظایف استفاده کرده‌اند. در این مقاله تابع شایستگی بر اساس زمان اتمام وظایف و با توجه به مدت زمان انجام محاسبات، زمان انتقال داده در میان گره‌ها و وظایف مختلف و همچنین هزینه اقتصادی محاسبات توسط سرورهای ابر تعریف شده است. برای بهبود الگوریتم، به ترتیب در تکرارهای ابتدایی و انتهایی تمرکز بر جستجوی جهانی و محلی می‌باشد. زامیت کومار میشرا[3] و همکاران [۴] از الگوریتم ایستای خفاش[4] برای زمان‌بندی وظایف با هدف برقراری تعادل میان مصرف انرژی و زمان پاسخ درخواست‌ها استفاده کرده‌اند. این روش سعی در زمان‌بندی منابع گره‌های مه بدون توجه به نقش ابر در زمان‌بندی دارد. با داشتن مقادیر زمان اجرای هر وظیفه در ماشین‌های مجازی گره‌های مه مختلف، در هر تکرار از الگوریتم و برای هر ذره، تابع شایستگی بر اساس بیشترین زمان اجرا در میان ماشین‌های مجازی و میزان مصرف انرژی در حالت بی‌کار و مشغول محاسبه شده است. در مجموع روش‌های فراابتکاری با وجود ارائه راه حل‌های باکیفیت، بهینگی راه حل پیشنهادی را تضمین نمی‌کنند. همچنین در اغلب پژوهش‌های این دسته به اولویت‌بندی درخواست‌های کاربران توجه نشده است.

در برخی دیگر از تحقیقات از رویکرد ریاضی جهت حل مسئله زمان‌بندی و تخصیص منابع استفاده شده است. این تحقیقات به سه دسته مبتنی بر اولویت، نظریه بازی‌ها و تقسیم و غلبه گروه‌بندی می‌شوند. در روش‌های مبتنی بر اولویت، هنگام تخصیص و زمان‌بندی منابع، برای برخی از درخواست‌ها نظیر درخواست‌های حساس به تأخیر [۵] و [۶] یا برخی از منابع، مانند گره‌های مه نزدیک به کاربران نهایی [۷] اولویت بیشتری در نظر گرفته می‌شود. مشکل اصلی این رویکرد احتمال گرسنگی در صف‌های با اولویت پایین است که ممکن است درخواست‌های با اولویت کم برای مدت نامشخص منتظر بمانند.

در روش‌های مبتنی بر نظریه بازی‌ها، امکان تغییر استراتژی و نحوه عملکرد گره‌های مه، ابر و موبایل متناسب با شرایط و بر اساس سود طرفین فراهم می‌شود. در [۸] مسئله زمان‌بندی درخواست‌های کاربران به صورت یک بازی غیر همکارانه[5] در میان گره‌های مه فرموله شده است. در این الگوریتم از یک رویکرد تکرارپذیر شامل سه گام استفاده شده است. در گام اول، هر گره با توجه به استراتژی فردی یک درخواست را به صورت تصادفی انتخاب می‌کند. در گام دوم الگوریتمی جهت شکل‌گیری خوشه‌هایی از گره‌های مه بر اساس بازی ائتلاف (همکارانه) اجرا می‌شود. در گام سوم میزان بهره‌وری که همان گذردهی سیستم است با توجه به میزان مصرف انرژی هر درخواست، محاسبه می‌شود. بر اساس میزان بهره‌وری، هر گره استراتژی خود را به روز می‌کند. اگر استراتژی گره‌ها تغییر کند، الگوریتم خوشه‌بندی مجدد تکرار می‌شود و در غیر این صورت الگوریتم زمان‌بندی خاتمه می‌یابد.

در روش‌های مبتنی بر تقسیم و غلبه، مسئله زمان‌بندی به زیرمسایل کوچک‌تر تقسیم شده و برای هر زیرمسئله الگوریتم جداگانه‌ای طراحی و به کار برده می‌شود. از جمله روش‌های مبتنی بر تقسیم و غلبه می‌توان به [۹] و [۱۰] اشاره کرد که با هدف برقراری توازن میان مصرف انرژی گره‌های محاسباتی و تأخیر دریافت پاسخ کاربران طراحی شده‌اند. در این مقالات مسئله تخصیص منابع، با در نظر گرفتن محدودیت نرخ ترافیک ارسالی به مه و ابر و محدودیت دستگاه‌های فیزیکی ابر و مه به دو شیوه متفاوت، به سه زیرمسئله شکسته می‌شود که عبارتند از: ۱) توازن مصرف انرژی و تأخیر در مه که یک مسئله بهینه‌سازی محدب با محدودیت‌های خطی[6] می‌باشد و به راحتی با استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی محدب[7] قابل حل است. ۲) توازن مصرف انرژی و تأخیر در ابر که یک مسئله برنامه‌نویسی غیر خطی اعداد مختلط[8] است و معمولاً مقابله با آن دشوار می‌باشد. تجزیه عمومی Benders[9] به عنوان یک روش مؤثر برای حل این مشکل ارائه شده است. ۳) کمینه‌سازی تأخیر جهت انتقال درخواست به ابر که با استفاده از روش مجارستانی[10] به طور مؤثر حل می‌شود. در نهایت توازن میان مصرف انرژی و تأخیر با توجه به تخصیص بار کاری در لایه مه و ابر محاسبه می‌گردد. این پژوهش‌ها با سایر روش‌های موجود مقایسه نشده‌اند و در نتیجه نمی‌توان با اطمینان در ارتباط با کارایی و عملکرد مؤثر آنها اظهار نظر کرد.

از دیگر رویکردهای اتخاذشده برای حل مسئله تخصیص منابع در رایانش مه می‌توان به روش‌های مبتنی بر داده‌کاوی اشاره کرد. در [۱۱] از کاوش قوانین انجمنی برای یافتن الگوهای پرتکرار تخصیص منابع از پایگاه داده تراکنش‌های زمان‌بندی، استفاده شده است. تراکنش‌ها نشان‌دهنده این هستند که چه وظایف و چه گره‌های مهی در زمان‌بندی‌های گذشته شرکت داشته و چگونه زمان‌بندی شده‌اند. الگوهای استخراج‌شده نشان‌دهنده این است که چه وظایفی در کدام گره‌های مه،

1. Rongbin Xu
2. Particle Swarm Optimization
3. Sambit Kumar Mishra
4. Bat Algorithm
5. Non-Cooperatively
6. Convex Problem with Linear Constraints
7. Convex Optimization Techniques
8. Mixed-Integer Nonlinear Programming
9. Generalized Benders Decomposition
10. Hungarian Method

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: مزایا و معایب تحقیقات پیشین در زمینه تخصیص منابع در رایانش مه.

دسته	زیرگروه	مراجع	مزایا	معایب
فراابتکاری		[۳]، [۴] و [۱۴] تا [۱۸]	عملکرد تصادفی جهت فرار از بهینه محلی، توجه به زمان اجرا و اتمام وظایف در زمان‌بندی	عدم تضمین یافتن پاسخ بهینه، مناسب‌نبودن الگوریتم برای شبکه‌های بزرگ با تعداد گره‌های بالا، عدم توجه به فاصله میان گره‌های مه و اولویت درخواست‌ها
مبتنی بر ریاضیات	مبتنی بر اولویت درخواست‌ها	[۵]، [۶] و [۱۹]	تمایز میان درخواست‌های حساس به تأخیر با سایر درخواست‌ها	در نظر نگرفتن احتمال گرسنگی در صف‌های اولویت پایین
	مبتنی بر اولویت گره‌های مه	[۷]	توجه به نقش اجرای موازی وظایف در کاهش زمان اجرا با توجه به روش ارسال درخواست‌ها	عدم توجه به تحرک گره‌های مه و امکان از دست رفتن منابع
	نظریه بازی‌ها	[۸] و [۲۰]	تغییر استراتژی و نحوه عملکرد عناصر الگوریتم تخصیص منبع متناسب با شرایط	عدم توجه به نقش ابر در زمان‌بندی
	تقسیم و غلبه	[۹] و [۱۰]	تقسیم مسئله به مسایل کوچک‌تر با توجه به محدودیت‌های موجود جهت توازن میان مصرف انرژی و تأخیر	عدم مقایسه روش با سایر الگوریتم‌های موجود
مبتنی بر داده‌کاوی		[۱۱]	استفاده از الگوهای پرتکرار در زمان‌بندی با هدف کاهش زمان اجرا و انتظار	عدم توجه به پهنای باند بین پردازنده‌ها و برنامه‌ریزی وظایف چندلایه در رایانش مه

اولویت اجرایی دارند. در این الگوریتم اولویت با وظایفی است که با توجه به مجموعه تراکنش‌ها، الگوی پرتکرار قوانین انجمنی شامل آنها، موجود باشد. در صورت عدم وجود الگو، وظایف با کمترین اندازه در گره‌هایی با بیشترین توان پردازشی زمان‌بندی می‌شوند و به این ترتیب کمترین زمان انتظار حاصل می‌گردد. در هر دوره، تراکنش زمان‌بندی جدید به پایگاه تراکنش‌های زمان‌بندی اضافه می‌گردد. در این پژوهش پهنای باند بین پردازنده‌ها و برنامه‌ریزی وظایف چندلایه در رایانش مه در نظر گرفته نشده است.

در جدول ۱ خلاصه‌ای از مزایا و معایب دسته‌های مذکور آورده شده است. اغلب تحقیقات پیشین به مسئله ازدحام درخواست‌ها در یک گره مه توجه نداشته‌اند و این در حالی است که ازدحام می‌تواند منجر به لغو درخواست‌های دارای مهلت زمانی شود و کارایی سیستم را کاهش دهد. در [۵] روشی ساده برای تخصیص منابع در شرایط ازدحام درخواست‌ها پیشنهاد شده است. در راهکار پیشنهادی این مقاله، فرض شده که حرکت کاربران به سمت یک گره مه مشخص است و در نتیجه درخواست‌های این گره افزایش می‌یابد. جهت جلوگیری از ازدحام در گره مذکور، کلیه درخواست‌های غیر حساس به تأخیر به ابر منتقل می‌شوند. مشکل اصلی این روش در این است که تنها درخواست‌های غیر حساس به تأخیر را به ابر ارسال می‌کند. این امر سبب می‌شود در برخی موارد صف گره مه در اثر ازدیاد درخواست‌های حساس به تأخیر دچار ازدحام شده و در نتیجه بسیاری از این درخواست‌ها لغو گردد. از طرفی دیگر، ارسال کلیه درخواست‌های غیر حساس به تأخیر به ابر موجب تحمیل زمان انتقال و انتشار بالا به این درخواست‌ها شده و منجر به ازدحام درخواست‌ها در ابر می‌شود. به عبارت دیگر ماشین مجازی موجود در ابر در حین اجرای هم‌زمان درخواست‌های همگن، به هر درخواست منابع محاسباتی کمتری اختصاص داده و در نتیجه زمان اجرا بالا می‌رود.

تعداد محدودی از کارهای موجود، مسئله تحرک کاربران و تأثیر آن بر اختصاص منابع را در نظر گرفته‌اند. در [۵] تحرک به شیوه‌ای بسیار ساده و با انتقال درخواست‌های کاربران به یک گره مه مشخص مدل شده است. در [۱۲] با توجه به تحرک کاربران یک روش کارا جهت بهینه‌سازی مهاجرت سرویس‌ها در مه، با هدف کاهش پهنای باند مصرفی ارائه شده است. در این پژوهش مهاجرت میان گره‌های مه با استفاده از API LXC/LDX و با همراهی CRIU صورت می‌پذیرد. گونسالوز[1] و همکاران در [۱۳] تحرک کاربران را در مسیرهای حرکتی مشخص مانند مسیر حرکت وسایل نقلیه عمومی در نظر گرفته‌اند. الگوریتم پیشنهادی آنها جهت اجرای درخواست کاربر، مجموعه‌ای از تکه ابرها را با توجه به موقعیت آتی کاربر پیشنهاد می‌کند. در این پژوهش، شرایط ازدحام در اثر تحرک کاربران در نظر گرفته نشده است و درخواست‌های کاربران دارای اولویت یکسان هستند.

مسئله تخصیص منابع در رایانش مه با در نظر گرفتن شرایط ازدحام درخواست‌ها و نیز تحرک کاربران همچنان به عنوان یک مسئله باز و چالش‌برانگیز مطرح است. در این مقاله یک روش مبتنی بر اولویت برای اختصاص منابع گره‌های مه به درخواست‌های کاربران متحرک با در نظر گرفتن ازدحام درخواست‌ها ارائه شده است.

۳- روش پیشنهادی

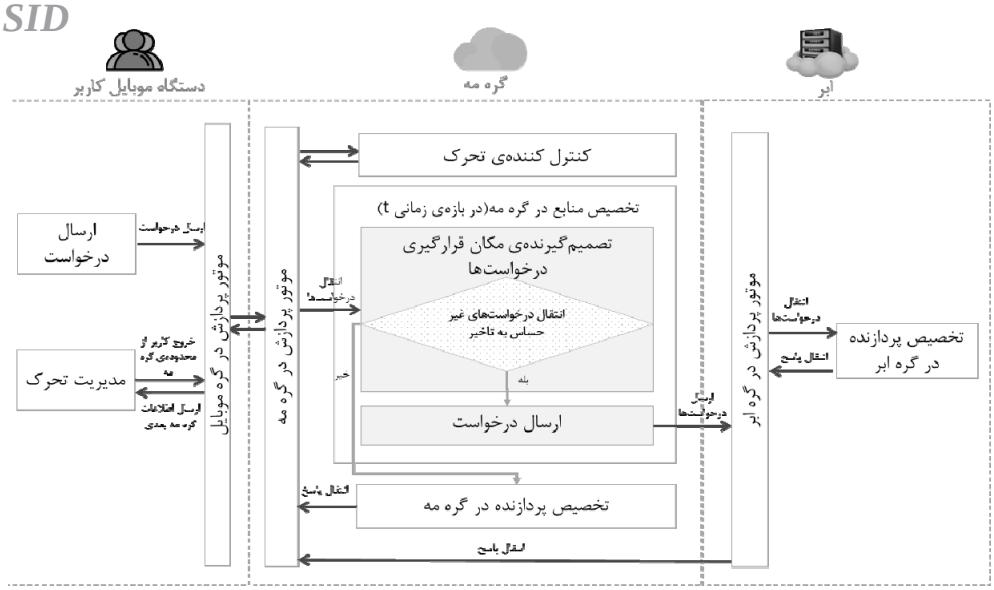
مدل پیشنهادی برای تخصیص منابع چهار مؤلفه اصلی دارد که در شکل ۱ نشان داده شده است: ۱) مؤلفه ارسال درخواست که وظیفه ایجاد، آماده‌سازی و انتقال درخواست به مؤلفه موتور پردازش را بر عهده دارد. ۲) مؤلفه تخصیص منابع که در مورد مکان اجرای درخواست‌ها (گره‌های مه یا ابر) تصمیم‌گیری می‌کند. ۳) مؤلفه موتور پردازش که نقش واسط را داشته و وظیفه ارسال درخواست‌ها به گره‌های مختلف را بر عهده دارد. ۴) مؤلفه تخصیص پردازنده که وظیفه تحلیل و پردازش درخواست‌های صف گره مه/ ابر را بر عهده دارد.

هر درخواست کاربر از تعدادی وظیفه مرتبط تشکیل شده است. وظایف باید با توجه به نوع برنامه کاربردی با ترتیب از پیش تعیین شده‌ای در گره‌های مه و یا ابر اجرا گردند. مؤلفه تخصیص پردازنده، جهت اجرای هر وظیفه در گره مه/ ابر، یک ماشین مجازی اجرا می‌کند. در هر زمان در یک گره مه تنها یک ماشین مجازی اجرا شده و از کلیه منابع گره مذکور استفاده می‌کند. یک ماشین مجازی قادر است وظایف همگن مورد نیاز چندین کاربر را به صورت هم‌زمان اجرا کند. در حقیقت منابع گره مه، در میان وظایف همگن درخواستی کاربران تقسیم می‌گردد. با اتمام کار یک

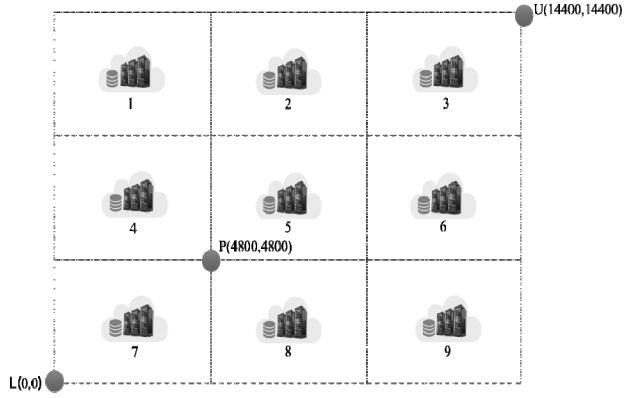
1. Goncalves

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: مؤلفه‌های روش پیشنهادی جهت تخصیص منابع.



شکل ۲: محدوده جغرافیایی در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی.

ماشین مجازی و اجرای کلیه درخواست‌های مرتبط، ماشین مجازی دیگری متناسب با نوع وظایف درخواستی شروع به کار می‌کند.

در پژوهش حاضر، کاربران بر اساس نیازمندی‌های کیفیت سرویس به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول کاربران متصل از طریق برنامه کاربردی با نیازها و درخواست‌های حساس به تأخیر هستند. این درخواست‌ها باید در مدت زمان مشخص و از پیش تعیین شده پردازش شوند. دسته دوم کاربران متصل از طریق برنامه کاربردی با نیازهای غیر حساس به تأخیر هستند. برای پاسخ به درخواست‌های این کاربران محدودیت زمانی وجود ندارد.

از سوی دیگر منابع دستگاه‌های موجود در لبه شبکه محدود است و بنابراین لازم است برخی از وظایف برای پردازش به مراکز ابر ارسال شوند. اما به دلیل این که برخی درخواست‌ها حساس به تأخیر هستند و محدودیت زمان اجرا دارند، اجرای هر چه بیشتر آنها در گره‌های مه، موجب کاهش تأخیر و افزایش رضایتمندی کاربران خواهد شد. به عبارت دیگر در صورت انتقال درخواست‌های حساس به تأخیر به ابر، با احتمال بالا مهلت زمانی آنها نقض خواهد شد. بنابراین باید سازوکاری برای اجرای وظایف حساس به تأخیر در گره‌های مه و حتی‌الامکان عدم انتقال آنها به ابر ارائه شود. از سوی دیگر باید ازدحام درخواست‌ها در یک گره مه در این سازوکار در نظر گرفته شود زیرا ازدحام منجر به افزایش زمان انتظار درخواست‌های منتظر در صف گره مه و در نتیجه لغو تعداد قابل توجهی از درخواست‌های حساس به تأخیر خواهد شد.

در ادامه این بخش ابتدا سناریوی پیشنهادی برای ازدحام درخواست‌ها در یک گره معرفی می‌شود. سپس جزئیات روش پیشنهادی جهت تخصیص منابع در رایانش مه با توجه به ازدحام درخواست‌ها ارائه می‌شود و وظایف مؤلفه تخصیص منابع (شکل ۱) به تفصیل تشریح می‌گردد.

۳-۱ سناریوی ازدحام درخواست‌ها در یک گره مه

به منظور شبیه‌سازی تحرک کاربران، نیاز به ارائه سناریویی برای نمایش حرکت کاربران است. در اندک پژوهش‌های موجود سناریوی تحرک بسیار ساده است و با انتقال درخواست‌های کاربران به صورت دستی از یک گره مه به گره مه دیگر انجام می‌شود [۵]. در حالی که در این مقاله، هدف شبیه‌سازی سناریویی است که بر اساس الگوهای حرکتی کاربران طراحی شده باشد و به واقعیت نزدیک‌تر باشد به گونه‌ای که هم تحرک کاربران و هم امکان وقوع ازدحام را در نظر بگیرد. در این سناریو، مطابق شکل ۲ محدوده تحت پوشش شامل ۹ ناحیه با اندازه‌های یکسان در نظر گرفته شده است. این محدوده می‌تواند بخش‌های مختلف یک فروشگاه بزرگ و یا ساختمان‌های مختلف یک دانشگاه باشد. کاربران می‌توانند در میان ساختمان‌ها و بخش‌های مختلف حرکت کنند. تحرک کاربران تنها محدود به محدوده جغرافیایی تعریف‌شده، یعنی مربعی با اندازه ۱۴۴۰۰×۱۴۴۰۰ مترمربع است. در هر ناحیه یک گره مه در نظر گرفته شده که تنها به کاربران آن ناحیه سرویس می‌دهد.

در ابتدای شبیه‌سازی، هر گره موبایل به صورت تصادفی در یک ناحیه قرار می‌گیرد. موقعیت یک گره موبایل با استفاده از طول و عرض جغرافیایی مشخص می‌شود. گره‌های موبایل با تغییر موقعیت جغرافیایی در میان گره‌های مه حرکت می‌کنند. برای به روز رسانی موقعیت یک گره و در واقع حرکت کاربران، از دو مشخصه جهت و سرعت حرکت استفاده می‌شود. جهت حرکت گره موبایل می‌تواند یکی از ۸ جهت اصلی یا فرعی جغرافیایی باشد. در ابتدای شبیه‌سازی سرعت و جهت حرکت گره‌های موبایل به صورت تصادفی انتخاب شده است. به روز رسانی موقعیت جغرافیایی گره موبایل به صورت متوالی در بازه‌های زمانی مشخص انجام می‌شود. همچنین محدوده سرعت حرکت یک گره موبایل با توجه به سرعت افراد پیاده و دوچرخه‌سوار تعریف شده است. به منظور ایجاد ازدحام در یک گره خاص (در این مقاله گره ۵) و بررسی عملکرد روش پیشنهادی در شرایط ازدحام، در طول شبیه‌سازی جهت حرکت کاربران با

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲: مشخصات گره‌های موجود در شبیه‌سازی.

نوع گره	MIPS	حافظه (MB)	پهنای باند ارتباطی با لایه بالا (Kbps)	پهنای باند ارتباطی با لایه پایین (Kbps)
مه	۲۸۰۰	۴۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
ابر	۴۴۸۰۰	۴۰۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰۰
واسط	۲۸۰۰	۴۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
موبایل	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۷۰

احتمال ۷۰ درصد به سمت گره ۵ در نظر گرفته شده است.

۳-۲ روش پیشنهادی برای زمان‌بندی درخواست‌ها

در روش پیشنهادی، درخواست‌ها در بازه‌های زمانی تصادفی تولید می‌شوند. گره موبایل بعد از پردازش اولیه، درخواست را برای گره مه ارسال می‌کند. در هر گره مه، الگوریتم تخصیص منابع با توجه به وضعیت منابع آزاد گره و با توجه به شرایط ازدحام، در مورد محل قرارگیری درخواست (گره مه یا ابر) به منظور اجرای آن تصمیم‌گیری می‌کند.

در الگوریتم پیشنهادی که SCNC[1] نامیده می‌شود، تخصیص منابع به صورت نیمه‌پویا و در ابتدای بازه‌های زمانی از پیش تعریف شده انجام می‌شود. در صورتی که درخواستی در وسط بازه زمانی جاری برسد، در انتهای صف قرار می‌گیرد تا در ابتدای بازه زمانی بعدی به آن رسیدگی شود.

همان طور که پیشتر گفته شد، مؤلفه تخصیص منابع درباره مکان رسیدگی به درخواست‌ها بر اساس وضعیت فعلی گره مه تصمیم‌گیری می‌کند. در ابتدای بازه شبیه‌سازی جاری درخواست‌های رسیده به ترتیب ورود بررسی می‌شوند. با توجه به وضعیت درخواست‌های در حال اجرا و درخواست‌های منتظر در صف و نیز منابع گره مه، زمان انتظار درخواست فعلی تخمین زده می‌شود و در صورتی که این زمان بیشتر از زمان لازم برای ارسال درخواست به ابر باشد، درخواست به ابر ارسال می‌شود. زمان انتظار درخواست‌ها مطابق (۱) تخمین زده می‌شود

$$TM_{(i,k)} = TP_i + TQ_{(i,k)} \qquad (۱)$$

در (۱)، $TM_{(i,k)}$ زمان تقریبی مورد نیاز برای شروع اجرای درخواست k در گره مه i را نشان می‌دهد. TP_i زمان اتمام کار درخواست‌های در حال اجرا در گره مه i می‌باشد. توجه شود که ممکن است چند درخواست به صورت هم‌زمان در گره مه در حال اجرا باشند. $TQ_{(i,k)}$ که مطابق (۲) محاسبه می‌گردد، مدت زمان مورد نیاز را برای پردازش درخواست‌هایی که قبل از درخواست k در گره مه i دریافت شده‌اند و در صف جلوتر از k قرار دارند نشان می‌دهد

$$TQ_{(i,k)} = \frac{\sum_{j=1}^{k-1} L_{(i,j)}}{P_i} \qquad (۲)$$

در (۲)، $L_{(i,j)}$ طول درخواست j ام در صف گره مه i و P_i برابر با توان پردازشی گره مه i است. همان طور که در (۲) مشاهده می‌شود، $TQ_{(i,k)}$ به صورت مجموع طول درخواست‌های قبل از درخواست k در صف گره مه i تقسیم بر توان پردازشی گره مه i محاسبه می‌شود.

در صورتی که $TM_{(i,k)}$ از زمان تأخیر انتقال و انتشار درخواست در صورت ارسال به ابر کمتر باشد، درخواست در گره مه پردازش می‌شود و در غیر این صورت به گره ابر ارسال می‌گردد. همچنین با خروج کاربر از

1. Send to Cloud When Not Capacity

جدول ۳: تأخیر ارتباطی میان گره‌ها.

تنظیمات	مقدار
تأخیر ارتباطی میان گره‌های ابر و واسط	۱۰۰ ms
تأخیر ارتباطی میان گره‌های واسط و مه	۴ ms
تأخیر ارتباطی در بین گره‌های مه	۲۰ ms
تأخیر ارتباطی گره‌های مه و موبایل	۲ ms
تعداد درخواست‌های هر گره موبایل	۵۰۰
بازه زمانی ارسال درخواست‌ها	۱۰–۱۵ ms
بازه‌های زمانی به روز رسانی موقعیت کاربر	۱۰۰۰ ms
بازه سرعت حرکت کاربران	۰–۱۵ km/h

محدوده گره مه درخواست وی از صف درخواست‌ها حذف می‌گردد و کاربر باید مجدداً درخواست‌های خود را برای گره مه جدید ارسال کند.

با طولانی‌شدن صف یک گره مه و در نتیجه افزایش زمان مورد نیاز جهت پردازش درخواست‌های کاربران در یک گره مه، احتمال بروز ازدحام در آن گره افزایش می‌یابد. شرایط ازدحام باعث می‌شود بسیاری از درخواست‌های کاربران به ویژه درخواست‌های حساس به تأخیر لغو شوند. در الگوریتم زمان‌بندی پیشنهادی با تخمین زمان انتظار درخواست‌های منتظر در صف گره مه و ارسال درخواست‌های با زمان انتظار بالا به ابر، می‌توان تا حد زیادی از بروز ازدحام در گره مه و لغو درخواست‌ها جلوگیری کرد. در واقع الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن بار کاری و وضعیت صف درخواست‌های یک گره مه، قبل از وقوع ازدحام، از پذیرش درخواست‌های جدید جلوگیری می‌کند و به گره مه فرصت می‌دهد درخواست‌های موجود در صف را پردازش کند. بدین ترتیب تا حد زیادی از ازدحام درخواست‌های حساس به تأخیر در صف گره مه که ممکن است منجر به عدم پذیرش این قبیل درخواست‌ها گردد، جلوگیری می‌شود.

٤- نتایج

در این بخش به ارزیابی کارایی روش پیشنهادی برای تخصیص منابع در رایانش مه پرداخته می‌شود. در ابتدا ابزار و تنظیمات شبیه‌سازی معرفی می‌گردد و سپس نتایج آزمایش‌های انجام‌گرفته ارائه می‌شود.

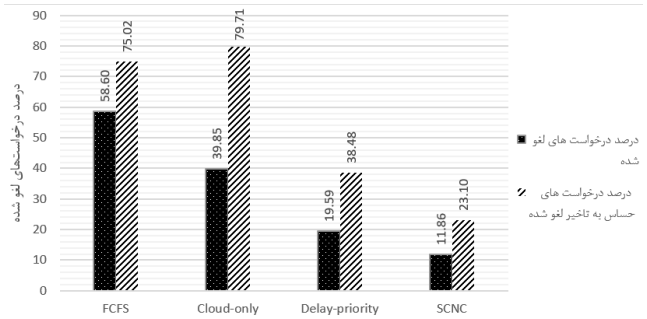
٤-١ ابزار و تنظیمات شبیه‌سازی

جهت شبیه‌سازی روش پیشنهادی برای زمان‌بندی درخواست‌ها، از شبیه‌ساز iFogSim استفاده شده است [۲۱]. برای پیاده‌سازی سناریوی پیشنهادی در بخش ۳-۱، یک گره ابر، یک واسط و ۹ گره مه در نظر گرفته شده است. در ابتدای شبیه‌سازی به هر گره مه، شش گره موبایل متصل است. هر گره مه از یک ماشین فیزیکی تشکیل شده و تمامی گره‌های مه قدرت پردازشی و ذخیره‌سازی یکسان دارند. جدول ۲ شامل اطلاعات قدرت پردازشی، ذخیره‌سازی و ارتباطی گره‌های مه و ابر می‌باشد. این اطلاعات شامل میزان RAM، میلیون دستورالعمل در ثانیه[2]، پهنای باند ارتباطی با لایه بالا[3] و پهنای باند ارتباطی با لایه پایین[4] است [۲۲] و [۲۳].

مطابق جدول ۳ تأخیر ارتباطی میان گره‌های ابر و واسط، تأخیر ارتباطی میان گره‌های واسط و مه، تأخیر ارتباطی در بین گره‌های مه و تأخیر ارتباطی میان گره‌های مه و موبایل، به ترتیب ۱۰۰، ۴، ۲۰ و ۲

2. MIPS
3. Up Bandwidth
4. Down Bandwidth

www.SID.ir



شکل ۳: درصد درخواست‌های لغوشده در چهار الگوریتم FCFS، Delay-priority، Cloud-only و SCNC.

میلی‌ثانیه در نظر گرفته شده است [۲۳] و [۲۴]. پارامترهای مذکور بر اساس مقادیر پیش‌فرض شبیه‌ساز iFogSim مقداردهی شده‌اند. هر کاربر موبایل ۵۰۰ درخواست ارسال می‌کند و در مجموع ۲۷۰۰۰ درخواست توسط کاربران ارسال خواهد شد.

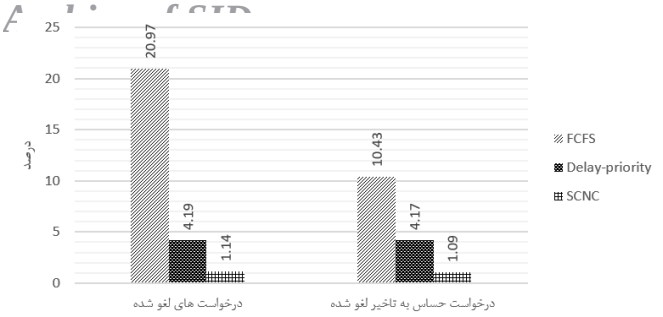
فواصل زمانی بین ارسال درخواست‌ها در هر سنسور، در حقیقت زمان ایجاد یک درخواست جدید، به صورت تصادفی بین ۱۰ تا ۱۵ میلی‌ثانیه انتخاب شده است. مهلت زمانی درخواست‌های حساس به تأخیر که نشان‌دهنده حداکثر مقدار مجاز برای اختلاف زمان بین ارسال درخواست در سنسور و زمان دریافت پاسخ در عملگر است، برای هر درخواست به صورت تصادفی از بازه [۷۵۰−۲۵۰] میلی‌ثانیه انتخاب شده است [۲۵]. مقادیر این پارامترها با توجه به برنامه کاربردی و جهت سازگاری با دنیای واقعی تعیین شده‌اند.

بازه زمانی به روز رسانی موقعیت کاربر ۱ ثانیه در نظر گرفته شده و سرعت حرکت کاربران نیز به صورت تصادفی از بازه ۰ تا ۱۵ کیلومتر بر ساعت انتخاب شده است [۲۶]. محدوده سرعت با توجه به میانگین سرعت افراد پیاده و دوچرخه‌سوار تعیین شده است. همچنین فاصله زمانی اجرای الگوریتم زمان‌بندی و تخصیص منابع در گره‌های مه و ابر، با سعی و خطا و آزمایش مقادیر مختلف برای بازه زمان‌بندی، ۵ میلی‌ثانیه در نظر گرفته شده است.

همچنین فرض شده که نیمی از گره‌های موبایل دارای برنامه کاربردی حساس به تأخیر هستند و نیمی دیگر برنامه کاربردی غیر حساس به تأخیر دارند. درخواست‌های کاربران متصل از طریق برنامه کاربردی حساس به تأخیر باید در مدت زمان مشخص و از پیش تعیین شده پردازش شوند. از آنجایی که این درخواست‌ها محدودیت زمان اجرا دارند، اجرای هرچه بیشتر آنها در گره‌های مه، موجب کاهش تأخیر و افزایش رضایتمندی کاربران خواهد شد. برای پاسخ به درخواست‌های کاربران متصل از طریق برنامه کاربردی با نیازهای غیر حساس به تأخیر محدودیت زمانی وجود ندارد. به منظور ایجاد دو دسته درخواست، از دو برنامه کاربردی Electroencephalography (EEGPT) و Video surveillance/object tracking (VSOT) استفاده شده است. برنامه کاربردی EEGPT یک بازی با درخواست‌های حساس به تأخیر می‌باشد و برنامه VSOT درخواست‌های غیر حساس به تأخیر ارسال می‌کند.

۴-۲ ارزیابی روش پیشنهادی برای زمان‌بندی درخواست‌ها

الگوریتم پیشنهادی (SCNC) با دو الگوریتم پایه به نام‌های FCFS و Cloud-only و الگوریتم مطرح‌شده در [۵] با عنوان Delay-priority مقایسه شده است. مقاله [۵] نزدیک‌ترین کار موجود به روش پیشنهادی



شکل ۴: درصد درخواست‌های لغوشده در گره دارای ازدحام با سه الگوریتم FCFS، Delay-priority و SCNC.

می‌باشد که مسئله ازدحام درخواست‌ها و تحرک کاربران را در نظر گرفته است. در الگوریتم FCFS درخواست‌ها به ترتیب ورود به صف گره مه و بدون هیچ اولویتی اجرا می‌شوند و هیچ درخواستی به ابر ارسال نمی‌شود. در هر بازه زمانی چندین درخواست می‌توانند به صورت هم‌زمان اجرا شود. در الگوریتم Cloud-only تمام درخواست‌ها به گره ابر منتقل می‌شوند و هیچ درخواستی در گره‌های مه پردازش نخواهد شد. در الگوریتم Delay-priority درخواست‌ها مشابه الگوریتم FCFS اجرا می‌شوند، با این تفاوت که در صورت نبود ظرفیت خالی در گره مه (در این مقاله تنها ظرفیت CPU در نظر گرفته شده است)، درخواست‌های غیر حساس به تأخیر به ابر منتقل می‌شوند.

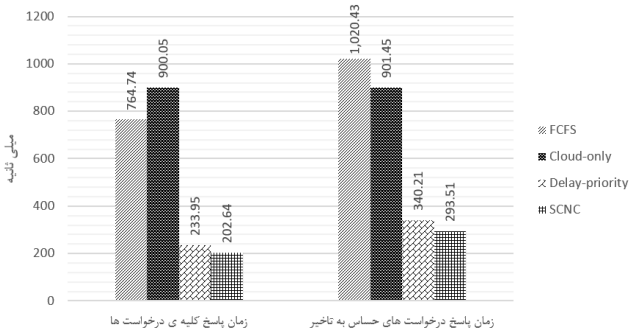
در شکل ۳، درصد درخواست‌های لغوشده و درصد درخواست‌های حساس به تأخیر لغوشده برای روش پیشنهادی و سه الگوریتم زمان‌بندی مذکور نمایش داده شده است. نتایج فوق حاصل میانگین ۱۰ بار شبیه‌سازی و اجرای الگوریتم‌ها می‌باشد. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، درصد درخواست‌های لغوشده و درصد درخواست‌های حساس به تأخیر لغوشده در روش SCNC کمتر از سه روش دیگر می‌باشد. برای نمونه درصد درخواست‌های لغوشده در روش پیشنهادی در مقایسه با روش Delay-priority حدود ۷/۷۳ درصد کمتر است. به طور مشابه درخواست‌های حساس به تأخیر لغوشده در SCNC حدود ۱۵/۳۸ درصد کمتر از روش Delay-priority است. دلیل این امر، انتقال برخی از درخواست‌ها با توجه به وضعیت صف جهت پردازش در ابر می‌باشد که باعث جلوگیری از رخداد ازدحام در گره مه می‌شود. با انتقال برخی از درخواست‌ها به ابر تعداد درخواست‌های موجود در صف گره مه کاهش می‌یابد و بنابراین درخواست‌های حساس به تأخیر در زمان کمتر و با سرعت بالاتری اجرا می‌شوند.

به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی در شرایط ازدحام، درصد درخواست‌های لغوشده و درصد درخواست حساس به تأخیر لغوشده در گره انتخابی برای ازدحام (گره ۵)، در شکل ۴ نشان داده شده است. همان طور که پیشتر گفته شد، به منظور ایجاد ازدحام در گره ۵ در طی مدت شبیه‌سازی کاربران با احتمال ۷۰ درصد به سمت گره ۵ حرکت می‌کنند. نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد در گرهی که با شرایط ازدحام مواجه شده است، با استفاده از الگوریتم SCNC درخواست‌های کمتری لغو می‌شوند. همچنین مطابق این نمودار در الگوریتم FCFS درصد قابل ملاحظه‌ای از درخواست‌ها (۲۰/۹۷٪) لغو می‌شوند.

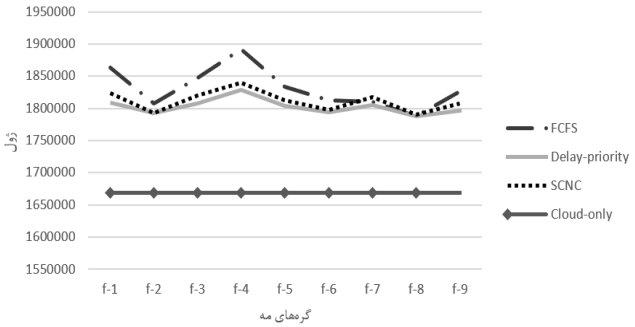
شکل ۵ متوسط زمان پاسخ درخواست‌ها در روش پیشنهادی را با سه روش دیگر مقایسه می‌کند. زمان پاسخ، اختلاف زمان از لحظه ارسال درخواست توسط سنسور تا لحظه دریافت پاسخ در عملگر می‌باشد. در الگوریتم FCFS انتظار درخواست‌ها در صف گره مه، موجب افزایش زمان پاسخ می‌شود. در الگوریتم Cloud-only کلیه درخواست‌ها به ابر منتقل

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵: متوسط زمان پاسخ درخواست‌ها در چهار الگوریتم FCFS، Delay-priority، Cloud-only و SCNC.



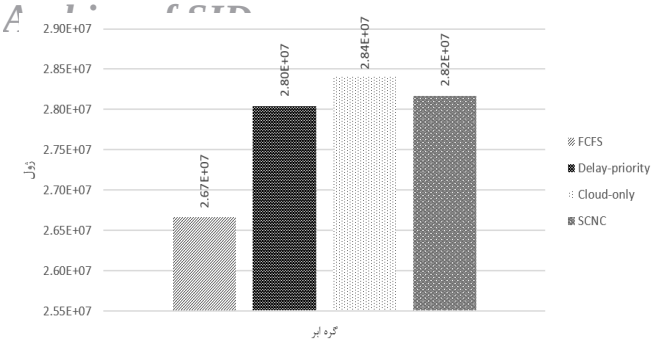
شکل ۶: میزان مصرف انرژی گره‌های مه در چهار الگوریتم FCFS، Delay-priority، Cloud-only و SCNC.

می‌شوند. به دلیل تأخیر انتشار و انتقال بالای ارسال درخواست‌ها به ابر، زمان پاسخ این الگوریتم به خصوص برای درخواست‌های حساس به تأخیر بیشتر از سایر الگوریتم‌ها است. همان طور که مشاهده می‌شود متوسط زمان پاسخ در الگوریتم SCNC کمتر از سایر روش‌ها است. لازم به ذکر است که متوسط زمان اجرای درخواست‌های حساس به تأخیر برنامه کاربردی EEGPT از متوسط زمان اجرای درخواست‌های غیر حساس به تأخیر برنامه کاربردی VSOT بیشتر است. به همین دلیل در شکل ۵، متوسط زمان پاسخ درخواست‌های حساس به تأخیر در مقایسه با متوسط زمان پاسخ کل درخواست‌ها بیشتر است.

شکل ۶ میزان مصرف انرژی گره‌های مه و شکل ۷ میزان مصرف انرژی در گره ابر را نمایش می‌دهد. مطابق شکل ۶ میزان مصرف انرژی در گره‌های مه که ظرفیت محدودی دارند در الگوریتم Delay-priority نسبت به سایر روش‌ها کمتر می‌باشد. همچنین میزان مصرف انرژی در الگوریتم FCFS بیشتر از سایر روش‌ها است، زیرا در این روش انتقال درخواست‌ها به ابر صورت نمی‌گیرد.

در شکل ۷ مشاهده می‌شود که میزان مصرف انرژی ابر پس از الگوریتم Cloud-only در الگوریتم SCNC بیشتر از سایر الگوریتم‌ها می‌باشد. دلیل اصلی مصرف انرژی بالا در الگوریتم SCNC، انتقال درخواست‌های غیر حساس به تأخیر به ابر است. اجرای دو نوع درخواست، موجب اختصاص پردازنده به ماشین‌های مجازی مختلف شده که این کار میزان مصرف انرژی را بالا می‌برد.

به طور خلاصه نتایج آزمایش‌های انجام‌گرفته نشان می‌دهد که روش پیشنهادی برای تخصیص منابع در رایانش مه بر اساس معیارهای متوسط زمان پاسخ و درصد درخواست‌های لغوشده عملکرد بهتری در مقایسه با دو روش پایه و روش Delay-priority دارد. همچنین این روش در شرایط ازدحام موفق عمل کرده و در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها نرخ پذیرش بالاتری به ویژه برای درخواست‌های حساس به تأخیر دارد.



شکل ۷: میزان مصرف انرژی گره ابر در چهار الگوریتم FCFS، Delay-priority، Cloud-only و SCNC.

۵- نتیجه‌گیری

معماری مه با فراهم‌سازی فضای ذخیره‌سازی و پردازشی در لبه شبکه، موجب کاهش تأخیر و مصرف انرژی تجهیزات شبکه میانی، در مقایسه با ابر می‌شود. جهت بهبود عملکرد این زیرساخت، مسئله زمان‌بندی و تخصیص منابع در رایانش مه باید با توجه به ویژگی‌های خاص آن مورد بررسی قرار گیرد. در این مقاله مسئله زمان‌بندی و تخصیص منابع با توجه به ساختار سلسله‌مراتبی در رایانش مه بررسی شده است. در این راستا، روشی جدید جهت رسیدگی به درخواست‌های کاربران با نیازمندی‌های متفاوت پیشنهاد شد. در روش پیشنهادی با توجه به وضعیت صف و منابع آزاد یک گره مه و نیز با در نظر گرفتن شرایط ازدحام، در مورد مکان و زمان رسیدگی به درخواست‌ها تصمیم‌گیری می‌شود. بر اساس آزمایش‌های انجام‌گرفته روش پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌های پایه FCFS و Cloud-only و نیز الگوریتم Delay-priority، نرخ پذیرش درخواست بالاتری دارد. همچنین روش پیشنهادی در شرایط ازدحام بر اساس معیارهای زمان پاسخ و نرخ پذیرش، عملکرد بهتری به ویژه برای درخواست‌های حساس به تأخیر، در مقایسه با سه روش نام‌برده دارد. علاوه بر این، ایده ابتکاری مطرح‌شده برای تخمین زمان اتمام کار از لحاظ محاسباتی بسیار ساده است. به عنوان کار آتی برآنیم تا ایده پیشنهادی را از لحاظ کارایی و پیچیدگی محاسباتی با تئوری صف، مقایسه کنیم.

مسئله زمان‌بندی و تخصیص منابع در رایانش مه مبحث جدیدی است و در حال حاضر پژوهش‌های اندکی در این زمینه انجام گرفته است. در ادامه چالش‌ها و پیشنهادهایی جهت روشن‌سازی راه محققان ارائه شده است:

- بهبود فرمول‌های پیشنهادی با هدف کاهش میزان مصرف انرژی و میزان استفاده از ترافیک شبکه
- توجه به متغیرسازی توان اجرایی گره‌های مه و پهنای باند
- بهبود فرمول‌های پیشنهادی و پیش‌بینی ازدحام با توجه به الگوهای رفتاری کاربران
- اولویت‌دهی به گره‌های مه با توجه به فاصله تا کاربر
- توجه به امکان قطع ارتباط با گره مه در مرز محدوده جغرافیایی گره

مراجع

[1] K. Ashton, "That 'internet of things' thing," *RFID J.*, vol. 22, no. 7, pp. 97-114, Jun. 2009.

[2] M. Bahrami and M. Singhal, "The role of cloud computing architecture in big data," in *Information Granularity, Big Data, and Computational Intelligence,* Springer, Switzerland, Cham, vol. 8, pp. 275-295, 2015.

www.SID.ir

Archive of SID

[3] R. Xu, *et al.*, "Improved particle swarm optimization based workflow scheduling in cloud-fog environment," in *Proc. Int. Conf. on Business Process Management, BPM'21,* vol. 342, pp. 337-347, Rome, Italy, 6-10 Sept. 2018.

[4] S. K. Mishra, D. Puthal, J. J. P. C. Rodrigues, B. Sahoo, and E. Dutkiewicz, "Sustainable service allocation using a metaheuristic technique in a fog server for industrial applications," *IEEE Trans. on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 10, pp. 4497-4506, Oct. 2018.

[5] L. F. Bittencourt, J. D. Montes, R. Buyya, O. F. Rana, and M. Parashar, "Mobility-aware application scheduling in fog computing," *IEEE Cloud Computing*, vol. 4, no. 2, pp. 26-35, Mar./Apr. 2017.

[6] M. Verma, N. Bhardwaj, and A. K. Yadav, "Real time efficient scheduling algorithm for load balancing in fog computing environment," *International Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 8, no. 4, pp. 1-10, 2016.

[7] V. B. C. Souza, *et al*., "Handling service allocation in combined fog-cloud scenarios," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Communications, ICC'16*, 5 pp., Kuala Lumpur, Malaysia, 22-27 May 2016.

[8] Y. Sun, T. Dang, and J. Zhou, "User scheduling and cluster formation in fog computing based radio access networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Ubiquitous Wireless Broadband, ICUWB'16*, 4 pp., Nanjing, China, 16-19 Oct. 2016.

[9] R. Deng, R. Lu, C. Lai, and T. H. Luan, "Towards power consumption-delay tradeoff by workload allocation in cloud-fog computing," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Communications ICC'15*, pp. 3909-3914, London, UK, 8-12 Jun. 2015.

[10] R. Deng, R. Lu, C. Lai, T. H. Luan, and H. Liang, "Optimal workload allocation in fog-cloud computing toward balanced delay and power consumption," *IEEE Internet of Things J.*, vol. 6, no. 3, pp. 1171-1181, Dec. 2016.

[11] L. Liu, D. Qi, N. Zhou, and Y. Wu, "A task scheduling algorithm based on classification mining in fog computing environment," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, Article No. 2102348, 11 pp., 2018.

[۱۲] م. اسدی و آ. طباطبایی، " روش پیشنهادی برای کاهش استفاده پهنای باند در مهاجرت زنده کانتینر در لایه مه،" *مجموعه مقالات ششمین کنفرانس وب‌پژوهی*، ۷ صص.، تهران، ایران، ۲۲-۲۲ خرداد ۱۳۹۹.

[13] D. Goncalves, K. Velasquez, M. Curado, L. Bittencourt, and E. Madeira, "Proactive virtual machine migration in fog environments," in *Proc. IEEE Symp. on Computers and Communications, ISCC'18,* pp. 742-745, Natal, Brazil, 25-28 Jun. 2018.

[14] X. Q. Pham and E. N. Huh, "Towards task scheduling in a cloud-fog computing system," in *Proc. IEEE 18th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium, APNOMS'16,* 4 pp., Kanazawa, Japan, 5- 7 Oct. 2016.

[15] S. Bitam, S. Zeadally, and A. Mellouk, "Fog computing job scheduling optimization based on bees swarm," *Enterprise Information Systems*, vol. 12, no. 4, pp. 373-397, 2018.

[16] J. Fan, X. Wei, T. Wang, T. Lan, and S. Subramaniam, "Deadline-aware task scheduling in a tiered IoT infrastructure," in *Proc. IEEE Global Communications Conf.*, *GLOBECOM'17,* 7 pp., Singapore, Singapore, 4-8 Dec. 2017.

[17] S. Kabirzadeh, D. Rahbari, and M. Nickray, "A security aware scheduling in fog computing by hyper heuristic algorithm," in *Proc. 3rd Iranian Conf. on Intelligent Systems and Signal Processing, ICSPIS'17*, pp. 87-92, Shahrood, Iran, 20-21 Dec. 2017.

[18] S. Kabirzadeh, D. Rahbari, and M. Nickray, "A hyper heuristic algorithm for scheduling of fog networks," in *Proc. 21st Conf. of Open Innovations Association, FRUCT'17*, pp. 148-155, Helsinki, Finland, 6-10 Nov. 2017.

[19] T. Choudhari, M. Moh, and T. S. Moh, "Prioritized task scheduling in fog computing," in *Proc. of the ACMSE Conf.*, 8 pp., New York, NY, USA, 29-31 Mar. 2018.

[20] H. Zhang, Y. Xiao, S. Bu, D. Niyato, F. R. Yu, and Z. Han, "Computing resource allocation in three-tier IoT fog networks: a joint optimization approach combining Stackelberg game and matching," *IEEE Internet of Things J.*, vol. 4, no. 5, pp. 1204-1215, ???. 2017.

[21] H. Gupta, A. V. Dastjerdi, S. K. Ghosh, and R. Buyya, "iFogSim: a toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the Internet of Things, edge and fog computing environments," *Software: Practice and Experience*, vol. 47, no. 9, pp. 1275-1296, Jun. 2017.

[22] H. E. Refaat and M. A. Mead, "DLBS: decentralize load-balance scheduling algorithm for real-time IoT services in mist computing," *International J. of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 9, pp. 92-100, Sept. 2019.

[23] A. Khalid and M. Shahbaz, "Service architecture models for fog computing: a remedy for latency issues in data access from clouds," *Trans. on Internet and Information Systems*, vol. 11, no. 5, pp. 2310-2345, 2017.

[24] D. Rathod and C. Girish, "Load balancing of fog computing centers: minimizing response time of high priority requests," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, no. 11, pp. 2713-2716, Sep. 2019.

[25] S. N. Srirama, K. Ramamohanarao, R. Buyya, and M. R. Mahmud, "Quality of Experience (QoE)-aware placement of applications in fog computing environments," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 132, pp. 190-203, Oct. 2018.

[26] B. Dewulf, T. Neutens, M. Vanlommel, and S. Logghe, "Examining commuting patterns using Floating Car Data and circular statistics: exploring the use of new methods and visualizations to study travel times," *Journal of Transport Geography*, vol. 48, pp. 41-51, Oct. 2015.

سمیرا انصاری مقدم مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش شبکه‌های کامپیوتری به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ از دانشگاه سیستان و بلوچستان دریافت کرده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: شبکه‌های کامپیوتری، رایانش مه، تخصیص منابع.

سمیرا نوفرستی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴ از دانشگاه صنعتی شریف و دانشگاه صنعتی امیرکبیر و در مقطع دکتری مهندسی کامپیوتر در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه شهیدبهشتی به پایان رسانده است و هم‌اکنون استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی اصلی مورد علاقه ایشان عبارتند از: هوش مصنوعی، پردازش زبان طبیعی، متن کاوی و زمانبندی در شبکه‌های کامپیوتری.

مهری رجائی در سال ۱۳۸۲ مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه صنعتی شریف و در سال ۱۳۸۴ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه صنعتی امیرکبیر دریافت نمود. در سال ۱۳۹۴ موفق به اخذ درجه دکترا در رشته مهندسی کامپیوتر از دانشگاه علم و صنعت گردید. دکتر رجائی از سال ۱۳۸۴ در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه سیستان و بلوچستان مشغول به فعالیت گردید و اینک نیز عضو هیأت علمی این دانشکده می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده شامل شبکه‌های اجتماعی، حفظ حریم خصوصی در انتشار شبکه-های اجتماعی و پایگاه داده می‌باشد.

www.SID.ir