فصلنامه اقتصاد محاسباتی
شاپا ۲۸۲۱-۰۴۳۳

بهینه‌سازی تخصیص منابع برای شبکه‌های اینترنت اشیا مبتنی بر محاسبات مه برای کاهش هزینه تاخیر

علی ذاکری[۱]
امیرحسین صالحی شایگان[۲*]
ادیب صالحی شایگان[۳]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۶ **تاریخ پذیرش نهایی:** ۱۴۰۱/۰۵/۲۳

چکیده

همراه با رشد روز افزون دستگاه‌های هوشمند و اینترنت 5G، فناوری اینترنت اشیاء نیز توسعه یافته است. افزایش تعداد اشیاء هوشمند سبب افزایش حجم داده‌ها و بارهای محاسباتی در ابعادی وسیع شده است. به همین دلیل از روش رایانش ابری به عنوان راه‌حلی برای این حجم داده استفاده می‌شود. با این حال با توجه به اهمیت کیفیت خدمات، راه حل رایانش ابری نمی‌تواند برای درخواست‌های حساس به تاخیر جوابگو باشد. تخصیص منابع در رایانش مه‌آلود باعث کاهش هزینه تاخیر می‌گردد. در این مقاله برای تخصیص منابع، برنامه‌نویسی پویا با توجه به تعداد زیاد درخواست‌ها و محدودیت‌های مسئله، مورد استفاده قرار گرفته است. روش پیشنهادی موجب کاهش هزینه تاخیر برای درخواست‌های اینترنت اشیاء می‌شود. در این پژوهش مدل‌سازی سیستم و الگوریتم پیشنهادی برای چهار حالت مختلف اجرا شد. در این چهار حالت دو روش پیشنهادی سهم این پژوهش بوده است. الگوریتم‌های پیشنهادی منجر به کاهش چشمگیر در هزینه تاخیر کل می‌شود. ولی مطابق انتظار، الگوریتم پس‌انتشار، پاسخ بهینه‌تری نسبت به الگوریتم پیش‌انتشار داشت.

واژگان کلیدی: هوش مصنوعی؛ بهینه سازی؛ شبکه اینترنتی؛ اینترنت اشیا؛ کاهش هزینه.

طبقه‌بندی JEL: M30; M31; M10

[۱] دانشیار ریاضی، گروه ریاضی، دانشکده ریاضی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: azakeri@kntu.ac.ir
[۲*] استادیار ریاضی، گروه ریاضی، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه خاتم النبیاء (ص)، تهران، ایران، نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: ahsalehi.kau@gmail.com
[۳] کارشناس ارشد مهندسی کامپیوتر نرم‌افزار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد صفا دشت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: salehi.shayegan@gmail.com

۱. مقدمه

اینترنت اشیاء به ما اجازه می‌دهد، میلیاردها شی فیزیکی را برای جمع‌آوری و مبادله داده‌ها به‌منظور ارائه برنامه‌های کاربردی، به یکدیگر متصل کنیم. داده های تولید شده توسط این اشیاء برای پردازش باید به سمت ابرها ارسال شوند. با این حال، با ظهور اینترنت اشیاء، محاسبات ابر با چالش‌های رو به رشدی مواجه است. از چالش‌های به‌وجود آمده می‌توان به تأخیر، محدودیت پهنای باند، منابع محدود دستگاه‌ها، اهمیت ارتباط امن و بدون وقفه اشاره کرد. به عنوان مثال با افزایش ترافیک تلفن‌های همراه و اینترنت اشیاء در سال‌های اخیر، انتقال داده‌ها به ابر نه تنها بار سنگینی بر پهنای باند در ارتباط ایجاد کرده بلکه منجر به تاخیر انتقال غیرقابل تحملی برای کاربران شده است. در نتیجه، بسیاری از شرکت‌ها در تلاشند تا روش‌هایی برای کاهش این فشار و حل مشکل پردازش داده‌ها پیدا کنند (بارنگی[1] و همکاران، ۲۰۱۱). محاسبه مه، محیطی است که قبل از انتقال داده به ابر، مکانی برای جمع‌آوری، محاسبه، ذخیره اطلاعات کنتور هوشمند فراهم می‌کند. این محیط به‌عنوان پلی در میان شبکه هوشمند و ابر عمل می‌کند. از نظر جغرافیایی توزیع و اصلاح مجدد محاسبات ابری از طریق قابلیت‌های اضافی از جمله کاهش زمان تأخیر، افزایش حریم خصوصی و محلی برای شبکه‌های هوشمند است (دی برایتو[2] و همکاران، ۲۰۱۷).

رایانش ابری شامل زیرساخت‌های متناظر آن‌ها به شکل مراکز داده‌ها، بدون شک موجب تسهیل توسعه‌ی سرویس‌های IoT[3] می‌شود که امکان نظارت داده‌ی مورد نیاز توزیع‌شده از ادوات IoT به‌کاررفته در محیط‌های هوشمند و به آن‌ها را فراهم می‌سازد. رایانش مه، با برطرف کردن برخی از نیازهای خاص سرویس نظیر تأخیر که با رایانش ابری قابل‌حل نیستند، درعین‌حال فرصت‌های جدیدی را مثلا از انتقال بار ترافیکی، مصرف انرژی یا امنیت ایجاد می‌کند (دانگ[4] و همکاران، ۲۰۱۹). درواقع در رایانش مه، کاربری که یک سرویس را راه‌اندازی می‌کند از منابع مبدا بهره‌مند می‌شود، که موجب کاهش تقاضا برای منابع ابری دور می‌گردد. استفاده از منابع موجود واقع در لبه (یعنی نزدیک به کاربر) که به‌صورت نودهای مه منظم شده‌اند و مراکز کوچک داده نه تنها تأخیر سرویس را کاهش می‌دهد، بلکه به کاهش زمان کلی پاسخ سرویس، ازدحام شبکه و

[1] Barnaghi et al.
[2] De Brito et al.
[3] Internet of Things
[4] Dong et al.

مصرف انرژی کمک می‌کند (جیانگ[1] و همکاران، ۲۰۱۵). از طرفی رایانش مه به‌عنوان یک مفهوم، چالش‌های متعددی را ایجاد می‌کند که اگر مرتفع نشوند، مانع کارکرد و استفاده‌ی واقعی آن شده و کارایی آن را محدود می‌سازند. درواقع به نظر می‌رسد که کل مفهوم رایانش مه در دستیابی به هدف خود در خصوص سرویس‌هایی که نیازمند ظرفیت‌های پردازشی بالا بوده و تنها با زیرساخت ابری قابل تحقق هستند، موفق نبوده است. از طرف دیگر، سرویس‌های حساس به تأخیر، راه دیگری به‌جز اتکا بر رایانش مه ندارند. این موضوع مزیت‌هایی نظیر تأخیر بسیار پایین به‌خصوص در کاربردهای حساس به زمان، تحرک پذیری، توزیع جغرافیایی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و غیره را ایجاد خواهد نمود. علی‌رغم مزیت‌هایی که این فناوری با خود به همراه دارد، به دلیل جدید بودن با چالش‌هایی نیز مواجه است که ازجمله می‌توان به مسئله مدیریت منابع و تأخیر سرویس اشاره نمود (مونترو[2] و همکاران، ۲۰۱۷).

مدیریت منابع دستگاه‌های پایان مه، اغلب دستگاه‌های شبکه‌ای هستند که مجهز به ذخیره انرژی اضافی و محاسبات هستند. با این حال، مطابق با ظرفیت منابع سرورهای سنتی، برای چنین دستگاه‌هایی دشوار است. بنابراین، مدیریت معقول منابع مه‌آلود براي كارآمدي محیط محاسبات مه لازم است. ارائه سازوکاری به‌منظور مدیریت و کاهش تأخیر سرویس در محیط مه می‌تواند سبب بهبود کیفیت سرویس، توازن بار بر روی گره‌های مه، استفاده بهینه از منابع شود (آبورکبا[3] و همکاران، ۲۰۱۷).

۲. ادبیات موضوع

جابه‌جایی دیتا توسط مه در بخش‌های مختلف باعث رشد چشمگیر استفاده از اینترنت اشیاء در مه شده است که البته چالش‌هایی به‌همراه داشته است، اگر برطرف نشود نه تنها باعث خسارت مالی، مصرف انرژی بالا، اتلاف وقت و مواردی از این قبیل شده بلکه در بعضی مواقع باعث از دست دان جان انسان می‌شود که جبران ناپذیر است، لذا باید تاخیر در کمترین زمان ممکن قرار گیرد.

مدیریت منابع دستگاه‌های پایان مه، اغلب دستگاه‌های شبکه‌ای هستند که مجهز به ذخیره انرژی اضافی و محاسبات می‌باشند. با این حال، مطابق با ظرفیت منابع سرورهای سنتی، برای

[1] Giang et al.
[2] Montero et al.
[3] Aburukba et al.

چنین دستگاه‌هایی دشوار است. بنابراین، مدیریت معقول منابع مه‌آلود براي کارآمدي محیط محاسبات مه لازم است. شبکه‌های هوشمند وظیفه جمع‌آوری و تهیه اطلاعات مصرف برق را در فاصله زمانی دارند. داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط کنتورهای هوشمند ممکن است شامل برخی از داده‌های خصوصی در مورد مشتری باشد. با افزایش اندازه و تعداد برنامه‌های کاربردی شبکه هوشمند، مقدار داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته نیز افزایش می‌یابد. مدیریت چنین داده‌های بزرگ چالش‌های زیادی از جمله قابلیت اطمینان، امنیت و مقیاس‌پذیری را ایجاد می‌کند (بات[1] و همکاران، ۲۰۲۱).

ابتدا محققین به منظور ارتقاء کیفیت تجربه کاربران، به مسئله تعادل بار در محاسبات مه پرداختند. در واقع فرض می‌کنند که کلیه درخواست‌های کاربران مختلف در صورت نیاز به بارگیری محاسباتی توسط منابع محاسباتی محلی انجام می‌شود. در این پیشنهاد، الگوریتم زمانبندی کار با پیچیدگی کاهش‌یافته، برای محاسبات مه ارائه شده است. منابع برای خدمت به یک سلول کوچک (به عنوان مثال گره مه) بر اساس برخی از قوانین برنامه‌ریزی، اختصاص داده می‌شوند (آدیکاری[2] و همکاران، ۲۰۱۹). قانون اول، تخصیص منابع محاسباتی محلی در هر سلول کوچک برای کاربران خانگی است. هر سلول کوچک درخواست‌های بارگیری کاربر را طبق یک پارامتر خاص مانند زمان رسیدن، محدودیت تأخیر و غیره مرتب می‌کند. این ترتیب همچنین قانون برنامه‌ریزی را مشخص می‌کند، که برای تخصیص منابع محلی اتخاذ می‌شود. در این روش، با توجه به پارامتر مرتب‌سازی، تقاضاهای کاربران می‌توانند در اولویت‌های مختلف قرار گیرند. علیرغم این واقعیت که این رویکرد، رضایت بالای کاربران را از لحاظ افزایش تأخیر و یا مصرف متوسط برق ایجاد می‌کند، می‌تواند از پیچیدگی بالا برای زیرساخت‌های محاسباتی مه در مقیاس بزرگ رنج ببرد. زیرا الگوریتم‌های مورد استفاده به عنوان مثال EDF اغلب برای زیرساخت‌های محاسباتی کم تراکم نتایج خوبی به‌همراه دارند.

کاهش تأخیر محاسبات و ارتباطات است که غالباً به عنوان یک نقطه ضعف عمده خدمات مبتنی بر ابر در شبکه‌های نسل پنجم در نظر گرفته می‌شود. نویسندگان در (بارنگی[3] و همکاران، ۲۰۱۱) یک معماری محاسبات مه را برای کمک به یک سیستم محاسبات (زیرساخت مبتنی بر مه

[1] Butt et al.
[2] Adhikari et al.
[3] Barnaghi et al.

در شبکه‌های نسل پنجم) برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری توسط برنامه‌ریزی بهینه پیشنهاد دادند. برای زمان‌بندی کارهای دستگاه مه، سه رویکرد در این مطالعه در نظر گرفته شده است. اولین مورد، رویکرد تصادفی است که در آن یک گره مه به طور تصادفی توسط توزیع یکنواخت برای اجرای یک کار انتخاب می‌شود. رویکرد دوم کمترین زمان تأخیر است که در آن گره مه با کمترین تأخیر کل بر اساس وضعیت فعلی سیستم انتخاب می‌شود. سرانجام، رویکرد حداکثر ظرفیت گره مه که حداکثر منابع باقیمانده در بین گره‌های نامزد را انتخاب می‌کند. نتایج شبیه‌سازی این کار نشان داد که سیاست کمترین زمان تأخیر به دلیل در دسترس بودن منابع، عملکرد بهتری دارد. نویسندگان نتیجه گرفتند که همه‌ی این سیاست‌ها می‌توانند برای یافتن مناسب ترین گره مه، برای یک کار استفاده شوند. با این وجود، استفاده از یک رویکرد خاص ممکن است راه حل بهینه برای کل سیستم نباشد (آبورکبا[1] و همکاران، ۲۰۱۷).

محققین دیگری یک مکانیزم توازن بار محاسبه مه برای تقسیم کار بر اساس افراز گراف را پیشنهاد دادند، در این مکانیزم وظایف محاسبات مه به گره‌های یک یا چند ماشین مجازی با توجه به سطح منابع مورد نیاز اختصاص یافته است. نویسندگان، گره‌های فیزیکی محاسبه مه را توسط یک نمودار غیرجهت دار نشان می‌دهند. این گره‌های فیزیکی با توجه به منابع محاسبات مه موجود، به عنوان مجموعه‌ای از گره‌های ماشین مجازی عرضه می‌شوند، جایی که گره‌های ماشین مجازی با افراز گراف، خدمات را برای کاربران فراهم می‌کنند. برای دستیابی به این هدف، درخت پوشا کمینه از کل نمودار ساخته شده است، لبه‌هایی که منابع کافی را فراهم نکرده‌اند، حذف می‌شوند. نمودار حاصل نمایانگر افراز تعادل بار است که توسط محاسبات مه به‌کار می‌رود. کارآیی این مکانیزم پیشنهادی، از نظر زمان اجرای وظایف، نشان داده شده است. با این حال، یک اشکال عمده این رویکرد این است که عملکرد آن برای متعادل سازی بار دستگاه‌های مه پویا به دلیل تغییر مکرر مکان گراف مورد نیاز برای مقابله با تغییرات مه، مناسب نیست.

۳. تصریح مدل ریاضی

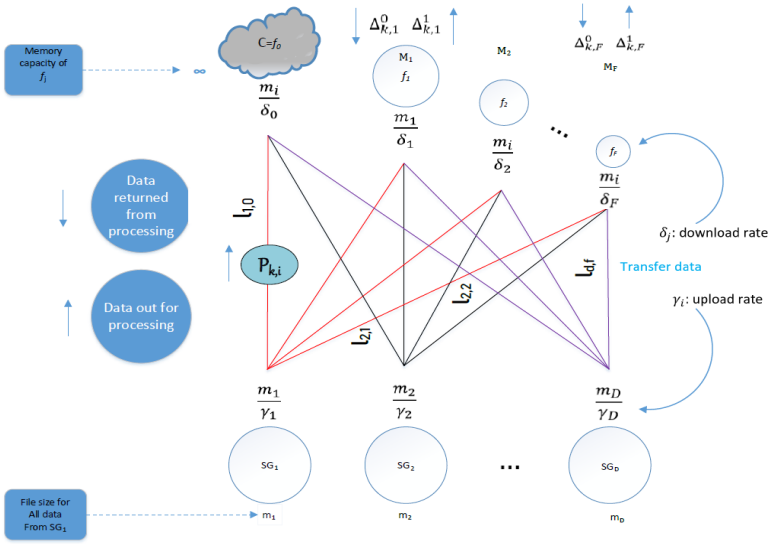
با توجه به شکل۱، مجموعه‌ای از گره‌های SG را می‌بینیم که دستگاه‌های شبکه‌های هوشمند، متصل به مجموعه‌ای از گره‌های f_j از دستگاه‌های fog هستند. این دستگاه با هزینه تأخیر $l_{i,j}$ ، که

[1] Aburukba et al.

نشان‌دهنده تاخیر بین نودهای شبکه‌های هوشمند و رایانش مه، از گره SG به f_j و بالعکس هستند، تعریف می‌شود. بسته $p_{k,i}$ داده‌ای است که توسط SG در زمان k با اندازه فایل $m_i > 0$ تولید می‌شود که باید در برخی از گره‌های f_j توزیع شود. در این قسمت کل فضای ذخیره‌سازی حافظه f_j با M_j نشان داده می‌شود. این را می‌توان در شکل ۱ به عنوان ظرفیت هر گره f_j مشاهده کرد. گره ابری f_0 دارای مقدار حافظه $C = \infty$ است، لذا برای اهداف این پژوهش گفته می شود، محدودیت حافظه ندارد.

شکل ۱ نرخ آپلود SG_i را γ_i و نرخ دانلود f_j را δ_j تعریف می‌کند. زمان آپلود SG_i برابر است با $\frac{m_i}{\gamma_i}$ و زمان دانلود f_j برابر با $\frac{m_i}{\delta_i}$ است. از آنجایی که داده‌های ارسال شده توسط دستگاه‌های شبکه‌های هوشمند از نظر اندازه نسبتاً کوچک هستند و می‌توانند به سرعت در اکثر رایانه‌های رایج پردازش شوند، به این منظور، فرض می‌شود زمان پردازش ناچیز است. به طور مشابه، اندازه پیام پاسخ، کوچک (زیر ۱ مگابایت) فرض می‌شود و می‌توان آن را نادیده گرفت. به عبارت دیگر، برای پاسخ از f_j به SG_i ، فقط به هزینه تأخیر $(l_{i,j})$ اهمیت داده می‌شود. در مجموع، به زمان ارسال یک بسته $(p_{k,i})$ از SG_i به f_k و برگشت از آن است.

شکل(۱): دستگاه‌های شبکه هوشمند



هدف پژوهش حاضر این است که، عمر هر بسته $p_{k,i}$ و پاسخ آن از IoT_i به برخی از گره‌های f_j و برگشت از آن را به حداقل برساند، در حالی که شامل دو هزینه‌ی تاخیر $(2l_{i,j})$ به‌اضافه‌ی هزینه‌ی انتقال $\left(\frac{m_i}{\gamma_i}+\frac{m_i}{\delta_j}\right)$ است. یعنی:

$$\frac{m_i}{\gamma_i}+2l_{i,j}+\frac{m_i}{\delta_j} \quad (۱)$$

جدول (۱): توصیف نمادهای دستگاه مه و شبکه‌های هوشمند

نماد	تعریف
k	مراحل زمانی
N	تعداد کل مراحل زمانی
SG	دستگاه‌های شبکه هوشمند
$l_{i,j}$	هزینه‌ی تاخیر
$p_{k,i}$	داده‌ای که از سمت دستگاه‌های شبکه هوشمند به مه ارسال میشود
M_j	کل فضای ذخیره سازی
γ_i	نرخ اپلود
δ_j	نرخ دانلود
m_i	اندازه/حجم سایز ارسال کننده‌ی
i	ارسال کننده
J	دریافت کننده
C	دستگاه ابر
F	دستگاه مه
SG	زیر شبکه‌ها

- حالت‌های x_k شرح فضای ذخیره‌سازی موجود در هر گره f_j در زمان k است که به‌این صورت تعریف می‌شود:

$$x_k = w_{k-1} = \{w_{k-1}, w_{k-2}, \dots, w_{k-F}\} \quad (۲)$$

- $u_{k,i}$ برای اتخاذ تصمیم دستگاه مه f_j است که $p_{k,i}$ به آن ارسال می‌شود که به این صورت تعریف می‌شود:

$$u_k = \{u_{k,1}, u_{k,2}, \dots, u_{k,D}\} \quad (۳)$$

- تابع هزینه

$$g_{k,i} = (x_k, u_{k,i}) = \frac{m_i}{\gamma_i} + 2l_{i,j} + \frac{m_i}{\delta_j} \quad (۴)$$

- تابع ارسال

$$f_k(x_k, u_k) = \{f_{k,1}, f_{k,2}, \dots, f_{k,D}\} \quad (۵)$$

۳-۱. معادله‌ی روش زنجیره‌ی پس انتشار

برای یافتن جواب دقیق پارامتر بهینه، از روش زنجیره پس‌انتشار استفاده می‌شود که در آن $g_n(x_k) = J_N(x_k) =$۰ است (تاها[1]، ۲۰۰۳). این روش عبارت است از:

$$J_k(x_k) = \min_{u_k \in U(x_k)} \{g_k(x_k, u_k) + J_{k+1}(f_k(x_k, x_k, w_k))\} \quad (۶)$$

$$\mu_k(x_k) = arg \min_{u_k \in U(x_k)} \{g_k(x_k, u_k) + J_{k+1}(f_k(x_k, x_k, w_k))\} \quad (۷)$$

۳-۲. معادله‌ی روش زنجیره‌ی پیش‌انتشار

برای یک جواب تقریبی، از تقریب پایه $\tilde{J}_k(x_k)$ برای نشان دادن هزینه تقریبی از k تا N استفاده شده است، از یک روش زنجیره پیش‌انتشار به‌صورت زیر استفاده می‌شود: (تاها، ۲۰۰۳):

$$\hat{J}_k(x_k) = \min_{u_k \in U(x_k)} \{g_k(x_k, u_k) + \tilde{J}_{k+1}(f_k(x_k, x_k, w_k))\} \quad (۸)$$

$$\hat{\mu}_k(x_k) = arg \min_{u_k \in U(x_k)} \{g_k(x_k, u_k) + \tilde{J}_{k+1}(f_k(x_k, x_k, w_k))\} \quad (۹)$$

۴. یافته‌ها

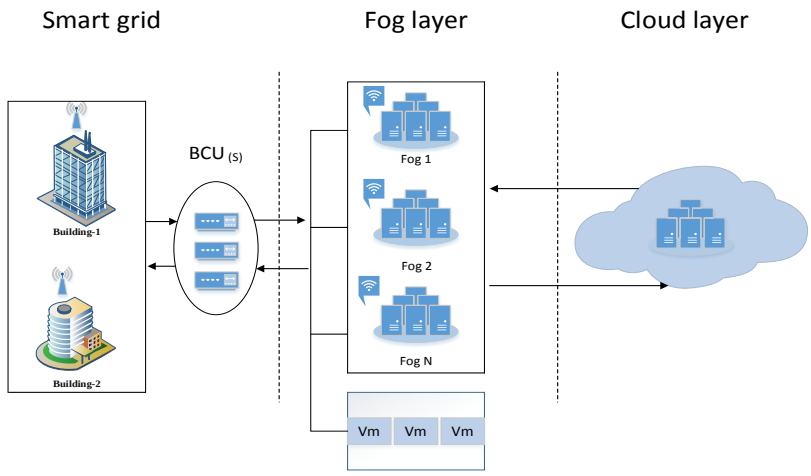
مدل پیشنهادی از سه لایه تشکیل شده است که به ترتیب عبارتند از: لایه کاربر نهایی، لایه مه، و لایه ابر. فرض می‌کنیم که لایه کاربر نهایی شامل N تعداد ساختمان است و هر ساختمان دارای چندین خانه H است. تمام اطلاعات در مورد مصرف انرژی یک خانه، تولید انرژی و برنامه ریزی لوازم خانگی به لایه مه ارسال می‌شود. این لایه برای اجرای برنامه‌های خود به منابع ابری متعددی دسترسی دارد که مقدار آن بینهایت در نظر گرفته شده است. ساختمان‌ها یا خانه‌های هوشمند

[1] Taha

تعریف شده از طریق کنتورهای هوشمند با دستگاه های مه در ارتباط هستند. همه خانه‌ها اطلاعات کمبود و انرژی بیش از حد خود را از طریق محیط ابر- مه به اشتراک می‌گذارند. کنتورهای هوشمند از طریق شبکه محلی، شبکه گسترده یا شبکه منطقه شهری تعامل دارند. راه‌حل‌های بی‌سیم متعددی برای پیوند ارتباطی در SG، مانند Wi-Fi، Z-Wave یا ZigBee وجود دارد.

لایه دوم لایه مه است که برای مدیریت موثر مسئله تاخیر و مدیریت منابع شبکه استفاده می‌شود. لایه مه به طور فیزیکی در منطقه محلی مصرف‌کنندگان وجود دارد (به عنوان مثال، در منطقه ۱، منطقه ۲، و غیره)، که نزدیک‌تر به مصرف‌کنندگان است. به طورخلاصه، گره مه در نزدیکی مصرف کننده قرار دارد (یعنی با فاصله‌ی کم از مصرف کننده قرار دارد)، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است که در آن فواصل فیزیکی و ارتباطی معادل هستند. این مه‌ها توسط ارائه دهندگان خدمات اینترنتی مدیریت می شوند (آزام[1] و همکاران، ۲۰۱۴) و (چیانگ[2] و همکاران، ۲۰۱۶).

شکل(۲): سه لایه مدل پیشنهادی



[1] Aazam
[2] Chiang

۴-۱. محیط پیاده سازی

الگوریتم پیشنهادی بر روی یک سیستم با پردازنده ۷ هسته‌ای، ۲/۸ گیگاهرتز و رم ۲۰ گیگابایتی اجرا شده است. نتایج الگوریتم پیشنهادی در python ارزیابی شده و تاثیر آن‌ها بر مصرف انرژی دستگاه‌های مه و تاخیر کل بررسی می‌شود. در این شبیه سازی، درخواست‌های دریافت شده توسط گره پایانی یا توسط دستگاه‌های مه در دسترس پردازش می‌شود. حداکثر تعداد دستگاه مه $f = 3$ و تعداد دستگاه‌های شبکه های هوشمند $SG = 3$ است. که به ترتیب بر روی دو ماشین مجازی و پنج ماشین مجازی پیاده سازی شده است. تنظیمات و مقادیر سیستم مورد استفاده شده در شبیه سازی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: تنظیمات و مقادیر سیستم

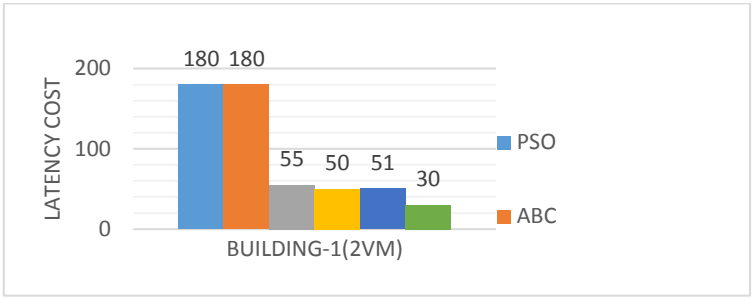
مقادیر	مشخصات
8GHz	RAM
6GHz	CPU
100GB	HARD
congestion factor	Δ_j^0
congestion variance	σ_j^0
processing factor	Δ_j^1
processing variance	σ_j^1

۴-۲. نتایج

در این پژوهش چهار حالت در نظر گرفته شده است که در ادامه خروجی ها نشان داده شده است:

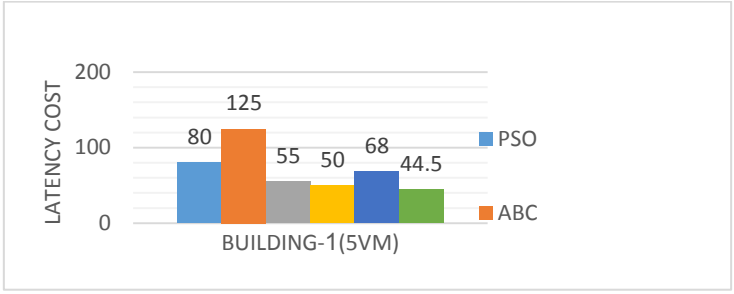
- حالت اول: ساختمان اول با ۲ ماشین مجازی
- حالت دوم: ساختمان اول با ۵ ماشین مجازی
- حالت سوم: ساختمان دوم با ۲ ماشین مجازی
- حالت چهارم: ساختمان دوم با ۵ ماشین مجازی

شکل (۳): ساختمان اول با دو ماشین مجازی



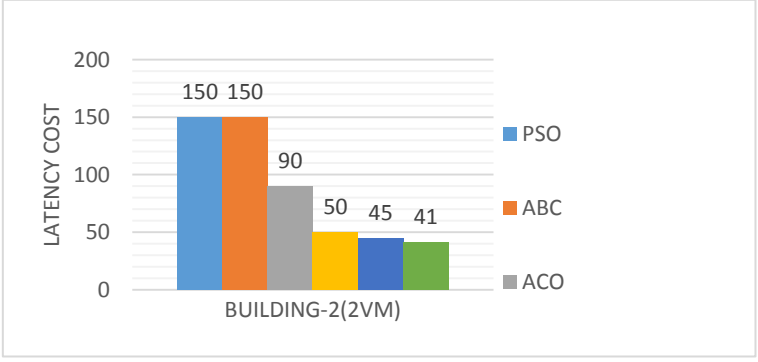
منبع: محاسبات محقق

شکل (۴): ساختمان اول با پنج ماشین مجازی



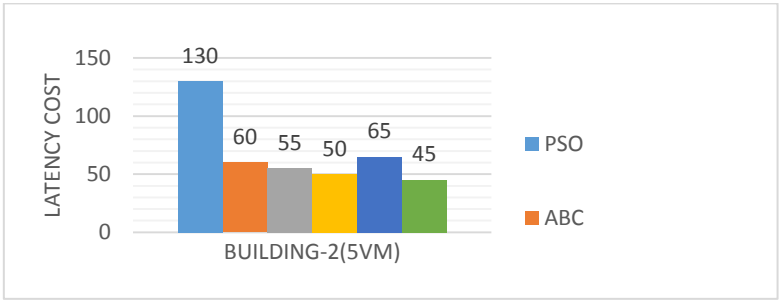
منبع: محاسبات محقق

شکل ۵: ساختمان دوم با دو ماشین مجازی



منبع: محاسبات محقق

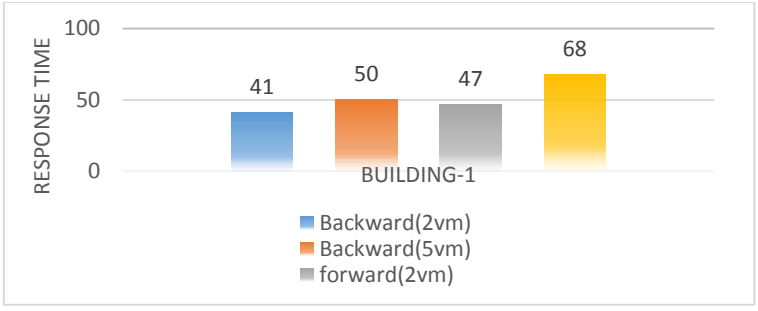
شکل ۶: ساختمان دوم با پنج ماشین مجازی



منبع: محاسبات محقق

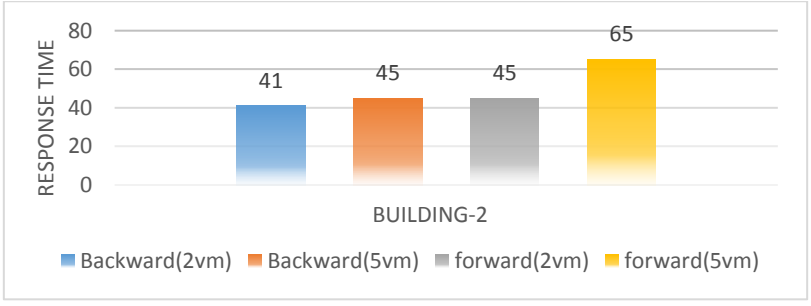
۳ـ۴. مقایسه روش‌های پیشنهادی

شکل(۷) : مقایسه ساختمان اول برای دو روش پس و پیش انتشار



منبع: محاسبات محقق

شکل(۸): مقایسه ساختمان دوم برای دو روش پس و پیش انتشار



منبع: محاسبات محقق

مدل‌سازی سیستم و الگوریتم پیشنهادی بخش قبل برای چهار حالت اجرا شد. در این چهار حالت دو روش پیشنهادی سهم این پژوهش بوده است، که الگوریتم‌های پیشنهادی شاهد کاهشی چشمگیر در تاخیر کل بوده‌ایم. ولی مطابق انتظار الگوریتم پس‌انتشار پاسخ بهینه‌تری نسبت به الگوریتم پیش‌انتشار داشت.

۵. نتیجه گیری

ارسال حجم زیادی از داده‌ها به سمت ابر تاخیر زیادی به بارهای کاری شبکه‌های هوشمند تحمیل می‌کند. از طرفی در صورت پردازش این بارهای کاری در لبه‌ی شبکه، انرژی مصرفی به شدت افزایش پیدا می‌کند. تخصیص بارهای کاری با در نظر گرفتن معیارهای تاخیر برای تامین کیفیت خدمات و انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دستگاه‌های مه تاخیر پردازش قابل قبولی دارند اما مصرف بالای انرژی این دستگاه‌ها در لبه‌ی شبکه باعث عدم تخصیص بارهای کاری بیشتر شده است. در کارهای گذشته تخصیص بارهای کاری بدون توجه به اصلاح مدل انرژی دستگاه‌های مه انجام شده بود که در نتیجه منجر به افزایش تاخیر برای کاربر نهایی می‌شد. در این پژوهش برقراری مصالحه در زمان اختصاص بارهای کاری برای تاخیر در دستگاه‌های مه با استفاده از الگوریتم زنجیره پس‌انتشار و پیش‌انتشار بررسی شد. همانطور که نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می‌دهد، تاخیر پردازش برای بسته‌هایی شبکه‌های هوشمند نیز کاهش قابل توجهی داشته است. خروجی الگوریتم زنجیره پس‌انتشار و پیش‌انتشار در مقایسه با روش‌های PSO، ABC، ACO و HABACO کاهش تاخیر را برای بارهای کاری متفاوت به ارمغان آورده است. در چهار حالت شبیه‌سازی شده توسط زنجیره پس‌انتشار و پیش‌انتشار، درخواست‌های شبکه‌های هوشمند با حداکثر و نصف توان فرستنده به سمت کنترل کننده فرستاده می‌شود. بنابراین از این مدل می توان در شبکه‌هایی استفاده کرد که منابع پردازشی آن‌ها به تاخیر حساس هستند. استفاده‌ی دستگاه‌های مه در علوم مختلفی مانند پزشکی، صنعت، با کم کردن تاخیر، می‌تواند کمک بزرگی به جامعه بشری کند.

منابع

- Aazam, M., & Huh, E. N. (2014, August). Fog computing and smart gateway based communication for cloud of things. In 2014 International conference on future internet of things and cloud (pp. 464-470). IEEE.

- Aburukba, R. O., AliKarrar, M., Landolsi, T., & El-Fakih, K. (2020). Scheduling Internet of Things requests to minimize latency in hybrid Fog–Cloud computing. Future Generation Computer Systems, 111, 539-551.
- Adhikari, M., & Gianey, H. (2019). Energy efficient offloading strategy in fog-cloud environment for IoT applications. Internet of Things, 6, 100053
- Barnaghi, De, S., P., Bauer, M., & Meissner, S. (2011). Service modelling for the Internet of Things. In 2011 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 949-955). IEEE.
- Butt, O. M., Zulqarnain, M., & Butt, T. M. (2021). Recent advancement in smart grid technology: Future prospects in the electrical power network. Ain Shams Engineering Journal, 12(1), 687-695.
- Chiang, M., & Zhang, T. (2016). Fog and IoT: An overview of research opportunities. IEEE Internet of things journal, 3(6), 854-864.
- Dastjerdi, A. V., Gupta, H., Calheiros, R. N., Ghosh, S. K., & Buyya, R. (2016). Fog computing: Principles, architectures, and applications. In Internet of things (pp. 61-75). Morgan Kaufmann.
- De Brito, M. S., Hoque, S., Magedanz, T., Steinke, R., Willner, A., Nehls, D., ... & Schreiner, F. (2017, May). A service orchestration architecture for fog-enabled infrastructures. In 2017 Second International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC) (pp. 127-132). IEEE.
- Dong, Y., Guo, S., Liu, J., & Yang, Y. (2019). Energy-efficient fair cooperation fog computing in mobile edge networks for smart city. *IEEE Internet of Things Journal*, *6*(5), 7543-7554.
- Giang, N. K., Blackstock, M., Lea, R., & Leung, V. C. (2015, October). Developing iot applications in the fog: A distributed dataflow approach. In *2015 5th International Conference on the Internet of Things (IOT)* (pp. 155-162). IEEE.
- Montero, R. S., Rojas, E., Carrillo, A. A., & Llorente, I. M. (2017). Extending the Cloud to the Network Edge. *Computer*, *50*(4), 91-95.
- Taha, H. A. (2003). Operations research: an introduction. Pearson Education.

Computational Economics
ISSN 2821-0433

Optimizing resources allocation for fog computing-based internet of things networks to reduce latency cost

Ali Zakeri [1]
Amir Hossein Salehi Shayegan [2*]
Adib Salehi Shayegan [3]

Abstract
In line with the growing popularity of smart devices and 5G Internet, IoT technology has also been developed. The increase in the number of smart objects has led to an increase in data volumes and computational loads on a large scale. For this reason, cloud computing is used as a solution for this amount of data. However, given the importance of service quality, the cloud computing solution may not be responsive to latency-sensitive requests. Allocating resources in cloudy computing also reduces the cost of latency. Dynamic programming has been used due to the large number of requests and problem constraints. The proposed method reduces the cost of latency for IoT requests. In this study, the proposed system modeling and algorithms were implemented for four cases. In these cases, two proposed methods have been the contribution of this research. These proposed algorithms have seen a significant reduction in the total latency cost. However, as expected, the backward algorithm had a better response than the forward algorithm.

Keywords
Artificial intelligence; optimization; internet network; internet of things; reduce costs

***JEL Classification*:** M10; M30; M31

[1] Associate Professor of Mathematics, Faculty of Mathematics, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran, Email: azakeri@kntu.ac.ir
[2] Assistant Professor of Mathematics, Mathematics Department, Faculty of Basic Science, Khatam-ol-Anbia (PBU) University, Tehran, Iran, Corresponding author, Email: ahsalehi.kau@gmail.com
[3] M.S. student, Department of Computer, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: salehi.shayegan@gmail.com