دو فصلنامه علمی
فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

سال پانزدهم، شماره ۵۷ و۵۸ ، پاییز و زمستان ۱۴۰۲
صفحات:۲۳۷ الی ۲۵۳

Improving IoT resource management using fog calculations and ant lion optimization algorithm

Payam Shams[*], Seyyede Leili Mirtaheri[**], Reza Shahbazian[***], Ehsan Arianyan[****]

[*]Masters student, Kharazmi University, Tehran, Iran

[**]Assistant Professor, Kharazmi University, Tehran, Iran

[***]Assistant Professor, Standard Research Institute, Tehran, Iran

[****]Assistant Professor, ICT research Institute, Tehran, Iran

Abstract

This paper proposes a model based on metaheuristic algorithms for the optimal allocation of fog measuring based on IoT resources. In the proposed model, the user request is initially given to the system as a workflow. The resource requirements (such as processing power, storage memory, and bandwidth) are first extracted for each request. This component determines the requested traffic status of the application in terms of real-time. If the application is not real-time and is resistant to latency to some extent, the request will be referred to the cloud environment. But if the application needs to real-time respond and is sensitive to latency, it will be dealt with as a foggy calculation. It will be written to one of the Cloudlets. In this step, the Antlion Optimization algorithm was used in pursuance of selecting the best way of resource allocation for serving the IoT environments' users. The proposed method is simulated in MATLAB software environment. In order to assess its performance, five indicators have been used (fog cells energy consumption, response time, fog cells imbalance, latency, and bandwidth). The results illustrated that the proposed method improved the energy consumption, latency rate in fog cells, bandwidth consumption rate, the balance of the load, and response time, respectively (ROUTER) 22%, 18%, 12%, 22%, and 47%, compared to the base design.

Keywords: IoT, fog calculations, antlion optimization algorithm, resource allocation.

بهبود مدیریت منابع در اینترنت اشیا با استفاده از محاسبات مه و الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه

پیام شمس*، سیده لیلی میرطاهری**×، رضا شهبازیان***، احسان آریانیان ****

*دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

**استادیار، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

***استادیار، پژوهشگاه استاندارد، تهران، ایران

****استادیار، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۳/۰۷

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

در این مقاله مدلی مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری برای تخصیص بهینه منابعدر اینترنت اشیا مبتنی بر محاسبات مه پیشنهاد شده است. در مدل پیشنهادی، ابتدا درخواست کاربر به صورت یک جریان کاری به سیستم داده می شود؛ تا به‌ازای هر درخواست ابتدا نیازمندی‌های منابع (قدرت پردازش، حافظه‌ی ذخیره‌سازی و پهنای باند) استخراج می‌گردد. این مؤلفه وضعیت ترافیک درخواستی برنامه را از لحاظ بلادرنگ بودن تعیین می‌کند. در صورتی‌که کاربرد مورد نظر بلادرنگ نباشد و در مقابل تأخیر تا حدودی مقاوم باشد، درخواست به محیط ابری ارجاع داده می شود، اما اگر برنامه کاربردی مورد نظر نیاز به پاسخگویی بلادرنگ داشته باشد و حساس به تأخیر باشد، به‌صورت محاسبات مه با آن برخورد خواهد شد و به یکی از کلودلت‌ها نگاشته خواهد شد. این این مرحله به منظور انتخاب بهترین راه حل در تخصیص منابع جهت سرویس‌دهی به کاربران محیط IoT، از الگوریتم بهینه سازی شیر مورچه استفاده شد. روش پیشنهادی در محیط نرم‌افزاری متلب شبیه سازی شده و برای ارزیابی عملکرد آن از پنج شاخص انرژی مصرفی سلول‌های مه، زمان پاسخگویی، درجه‌ی عدم تعادل سلول‌های مه، تأخیر و پهنای باند استفاده گردیده است. بررسی یافته‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، میزان انرژی مصرفی، نرخ تأخیر را در سلول‌های مه، نرخ پهنای باند مصرفی، میزان تعادل بار و زمان پاسخگویی را در مقایسه با طرح پایه (ROUTER) به ترتیب ۲۲، ۱۸، ۱۲، ۲۲ و ۴۷ درصد بهبود داده است.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیا، محاسبات مه، الگوریتم بهینه سازی شیر مورچه، تخصیص منابع

×نویسنده مسئول: سیده لیلی میرطاهری mirtaheri@khu.ac.ir

۱. مقدمه

اینترنت اشیا شبکه‌ای از تجهیزات الکتریکی و سنسورهای متصل به‌هم به‌منظور تبادل اطلاعات با یکدیگر است که با هدف سنجش و کنترل از راه دور استفاده می گردد[۱]. در این شبکه برای هر موجود یا شی قابلیت ارسال داده از طریق شبکه‌های ارتباطی، اعم از اینترنت یا اینترانت، فراهم می‌شود و می‌توان توسط اپلیکیشن‌های موجود مجموعه‌ای از سیستم‌ها را به صورت خودکار و هوشمند کنترل و مدیریت کرد[۲]. اینترنت اشیا از چندین فناوری دیگر نظیر شبکه حسگر بیسیم [۱]، ارتباطات ماشین به ماشین[۲]، روباتیک، فناوری های اینترنت، دستگاه های هوشمند و ... استفاده می‌نماید[۳]. اینترنت اشیا مزایای زیادی برای کاربران به ارمغان آورد. ماهیت متصل دستگاه های اینترنت اشیا به این معناست که اگر یک دستگاه از ضعف امنیتی برخوردار باشد، پتانسیل آن را دارد که بر امنیت و انعطاف پذیری کل سیستم در سطح بین المللی تاثیر بگذارد[۴]. این رفتار به سادگی به علت به کارگیری گسترده دستگاه های متصل اینترنت اشیا به وجود آمده است[۵]. علاوه بر این، قابلیت اتصال مکانیکی برخی از دستگاه های متصل به اینترنت اشیا با دستگاه های دیگر، بدان معنی است که کاربران و توسعه دهندگان اینترنت اشیا همه تعهد دارند که اطمینان حاصل کنند که دیگر کاربران و همچنین خود اینترنت را در معرض آسیب احتمالی قرار نمی دهند[۶]. در عصر کنونی افزایش استفاده از تلفن‌های هوشمند، علاقه‌ی کاربران به پردازش‌های سریع، افزایش تحرک در شبکه، تعمیم اتصال به اینترنت به اشیای مختلف و نزدیک شدن محاسبات و پردازش‌ها به لبه‌های شبکه از نتایج بهره‌گیری از اینترنت اشیا است[۷]. این شرایط سبب شد تا محاسبات به سمت فراگیر شدن و نزدیک‌تر شدن به ابزارهای کاربران و اشیا پیش برود. برای پیاده سازی این مهم، ابر به لبه‌هایی نیازمند است که به محاسبات نزدیک‌تر شده باشند[۸]. مفهوم محاسبات مِه (FC[۳])، محاسبات و پردازش‌ها را از هسته‌ی شبکه به سمت لبه پیش می‌برد[۹]. محاسبات مه در حال حاضر توجه زیادی را از سوی محققان به خود جلب کرده است. این محاسبات به‌عنوان توسعه‌ای بر رایانش ابری است که به صورت سرویس‌دهی توسط گره‌های لبه در شبکه انجام می شود[۱۰]. با توجه به فراوانی کاربران، سرویس‌دهنده نیاز به مدیریت بارکاری و بهره‌گیری بهینه از منابع دارد. ارائه‌ی راهکاری مناسب جهت تخصیص مطمئن منابع به درخواست‌ها در کمترین زمان پاسخ به این درخواستها چالش بزرگی در محاسبات ابری است. تخصیص بهینه‌ی منابع در جهت کاهش زمان پاسخ، نقش مهمی در عملکرد محاسبات مه ایفا می‌کند[۱۱]. محاسبات ابری با مصرف انرژی مناسب و حفظ رضایت کاربر (براساس رعایت ضرب‌الاجل درخواست‌ها و انجام وظایف در مهلت تعیین‌شده)، مؤثر و صحیح‌تر عمل می‌کند[۱۲]. هدف تعادل بار، بهینه‌سازی کارکرد و بازدهی و در حین کاهش زمان عکس‌العمل است[۱۳]. در این مقاله برای تخصیص مناسب منابع از یک رویکرد ترکیبی و مبتنی بر الگوریتم های فراابتکاری استفاده شده است. این رویکرد در بخش های بعدی مقاله به صورت کامل معرفی خواهد شد.

۲. اینترنت اشیا

اینترنت اشیاء فناوری پیشرفته ای است که در آن برای هر موجود قابلیت ارسال داده از طریق شبکه های ارتباطی اعم از اینترنت و یا اینترانت فراهم می شود[۱۴]. مهم ترین مزیت همه گیر شدن IOT قابلیت اتصال انواع اشیا و وسایل به دنیای مجازی است به عبارت دیگرهر چیزی، از جمله اشیا بی جان، برای خود هویت دیجیتال داشته باشند و به کامپیوترها اجازه دهند آنها را سازماندهی و مدیریت کنند[۱۵]. اینترنت اشیاء نیازمند مکانیزم های محرمانگی، یکپارچگی، تصدیق هویت و کنترل دسترسی به صورت دقیق می باشد[۱۶]. اتصال میلیاردها شیء و ابزار به اینترنت به معنای افزایش آسیب پذیری های امنیتی بالقوه در دنیای مجازی است زیرا تا چند سال دیگر انواع لوازم خانگی،خودروها، درها و... هم به یکی از زیرمجموعه های صنعت فناوری اطلاعات مبدل می شوند. امنیت و حریم خصوصی از عمده ترین مشکلات IOT هستند که مسئولان باید اقدامات لازم را برای رفع آنها بکار گیرند[۱۷]. برخی محققان اینترنت اشیا را به‌عنوان یک مدل جدید تعریف می‌کنند که شامل همه‌ی فناوری‌های ارتباط بی‌سیم مانند شبکه‌های حسگر بی‌سیم، شبکه‌های موبایل است. به تعبیر دیگر اینترنت اشیا یک شبکه پیچیده از اشیا و افراد است که به‌طور یکپارچه از طریق اینترنت به یکدیگر متصل می‌شوند. هر چیزی که دارای پتانسیل اتصال باشد را می‌توان به شبکه متصل کرد تا از طریق حسگرهای بدون سیم و فرکانس‌های رادیویی اقدام به مبادله‌ی داده نماید[۱۸]. اینترنت اشیاء بستری را محیا می‌سازد که داده های تولید شده توسط سنسورها و دستگاه های مختلف سخت افزاری توسط سیستم های تحلیل داده نظیر یادگیری ماشین پردازش شود و اصطلاحا دستگاه را هوشمند کند[۱۹]. این هوشمندی به معنی اتخاذ تصمیم های مناسب تر و بهینه است که البته همه این مراحل بدور از دخالت انسان خواهد بود[۲۰]. با در نظر گرفتن انواع مختلف

[1] Sensor Wireless Network

[2] Machine to Machine

[3] Fog Computing

سرویس های اینترنت ا شیاء می توان نیازمندی های محا سباتی آن را بصورت زیر طبقه بندی کرد:

–تاخیر بسیار اندک: تحلیل داده ها در محلی نزدیک به حسگرها [۱] و د ستگاه های اینترنت ا شیاء کمک شایانی به کاهش میزان تاخیر در زمان اجرای فرامین و تحلیل داده ها خواهد داشت[۲۱].

–ا ستفاده بهینه از پهنای باند: انجام بسیاری از محا سبات و تحلیل ها نزدیک به محل تولید و جمع آوری داده و ممانعت از ارسال حجم و سیعی از داده ها بر روی شبکه. این امر خود نقش بسزایی در کاهش هزینه های شبکه خواهد داشت[۲۱].

–کاهش نگرانی های امنیتی: نظر به ارسال حداقلی داده ها برروی شبکه بطبع خطرات امنیتی کمتری متوجه سیستم خواهد بود[۲۱].

اتحادیهٔ بین المللی ارتباطات یکی از مراجع جهانی در حوزهٔ ارتباطات، یک معماری برای اینترنت اشیا پیشنهاد داده است (همانند شکل ۱). اینترنت اشیا با در نظر گرفتن این معماری به توسعهٔ شهر هوشمند، حمل و نقل هوشمند، ساختمان هوشمند، انرژی هوشمند، صنعت هوشمند، سلامت هوشمند و زندگی هوشمند کمک می کند[۱۹].

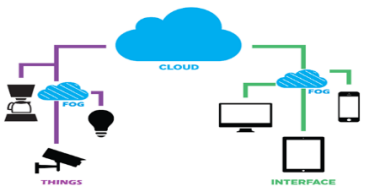
همان طور که در این مدل معماری اینترنت اشیا مشاهده می شود، کاربردهای اینترنت اشیا می توانند به افزایش هوشمندی سلامت در جامعه منجر شوند[۱۸].

شکل ۱. مدل لایه ای معماری اینترنت اشیا[46]

۳. محاسبات مه

محاسبات مه یک زیرساخت توزیع شده‌است که در آن داده‌ها، محا سبات، ذخیره سازی و اپلیکیشن‌ها در محلی بین د ستگاه‌های تولیدکننده‌ی داده و ابر، پراکنده شده‌اند. مفهوم رایانش مه هم در سیستم‌های ابری و هم در ساختار بزرگ داده وجود دارد[۲۲]. هم محاسبات مه و هم محاسبات ابری، فضای ذخیره‌سازی، اپلیکیشن و داده را برای کاربران فراهم می‌کند؛ اما مه نزدیکی بیشتری به کاربر نهایی دارد و توزیع جغرافیایی وسیع‌تری دارد. شبکه‌سازی مه شامل یک صفحه‌ی داده و یک صفحه‌ی کنترلی است. دستگاه‌هایی که در مه وجود دارند تحت عنوان «نود» شناخته می‌شوند. نودها در هرجایی با یک ارتباط شبکه‌ای می‌توانند قرار گیرند: در کف یک کارخانه، در بالای یک منبع تغذیه، در طول مسیر راه‌آهن، در یک خودرو یا در یک دکل نفتی[۲۲].

هر د ستگاه با ارتباط شبکه‌ای، محا سباتی و ذخیره سازی می‌تواند یک نود باشد. کنترل‌کننده‌های صنعتی، سوئیچ‌ها، روترها و دوربین‌های نظارتی مثال‌هایی از آن هستند. تخمین زده می‌شود حجم داده‌های آنالیز شده در د ستگاه‌های نزدیک به اینترنت ا شیا حدود ۴۰ درصد از کل آن‌ها است. دلیل آن ساده است: وقتی محل جمع‌آوری داده‌ها نزدیک است، تحلیل داده‌ها نیز تأخیر کمتری دارد[۲۳]. در محاسبات مه وقتی جابه‌جایی داده در شبکه کمتر می‌شود، ازد حام، هزینه و تأخیر کاهش می یابد، گلوگاه ها در سیستم های محاسباتی از بین می‌روند، امنیت اطلاعات رمزنگاری‌شده با قرار گرفتن در نزدیکی کاربر افزایش می یابد و مقیاس‌پذیری سیستم‌های مجازی بهبود می‌یابد[۲۴]. همچنین در محا سبات مه با حذف محیط محا سباتی ه سته، بلوک‌های ا صلی و نقاط شکست کاهش می‌یابد. امنیت با حرکت داده در لبه‌ی شبکه بهبود می‌یابد و محاسبات لبه سطح قابل‌قبولی از مقیاس‌پذیری، قابلیت اتکا و تحمل خطا را فراهم می‌کند. مصرف کمتر پهنای باند نیز بدیهی‌ترین موردی ا ست که می‌توان به آن ا شاره کرد. البته در کنار مزایای فراوان، مه یک نقض بزرگ دارد و آن دشواری کار در انتخاب پلتفرم های فناوری، اپلیکیشن های وب و دیگر سرویس‌هاست. انتخاب نادرست هر مورد از میزان تأثیرگذاری مه می کاهد[۲۵].



[۱] Sensor

شکل۲. رایانش مه به‌عنوان یک مدل محاسباتی توزیع‌شده

یکی از عوامل رایج مه این است که منابع و سرویس‌های محاسباتی، ارتباطی، کنترل و ذخیره‌سازی را به کاربران نزدیک‌تر می‌کند. یک معماری مه ممکن است کاملاً توزیع‌شده باشد؛ یا معماری دیگری از آن ممکن است بیشتر متمرکز باشد و یا درجایی دیگر ممکن است بین این دو مورد قرار داشته باشد. معماری مه و برنامه‌های کاربردی آن ممکن است مجازی شده و به‌طور کامل در نرم‌افزار پیاده سازی شده باشند[۲۵]. آن‌ها همچنین ممکن است در سخت‌افزار و نرم‌افزار اختصاصی نیز پیاده سازی شده باشند. یک معماری مه به برنامه‌های کاربردی یکسانی اجازه خواهد داد که در هر مکانی اجرا شوند و نیاز به برنامه‌های کاربردی که تنها مختص ابر، نقاط انتهایی، یا فقط برای وسایل لبه‌ای هستند را کاهش می‌دهد. مه برنامه‌های کاربردی از تأمین‌کنندگان مختلف را ممکن می‌سازد که بر روی بستر فیزیکی یکسانی بدون تداخل متقابل با یکدیگر اجرا شوند[۲۲]. مه درواقع یک چارچوب مدیریت چرخه‌ی حیات را به‌صورت مشترک برای تمام برنامه‌های کاربردی ارائه می‌دهد و این کار را با ارائه‌ی قابلیت هایی برای ایجاد، پیکربندی، ارسال، فعال‌سازی و غیرفعال‌سازی، اضافه و حذف کردن و به‌روزرسانی برنامه های کاربردی انجام می‌دهد. علاوه‌براین، مه یک محیط اجرایی امن برای سرویس ها و برنامه های کاربردی را ارائه می‌کند[۲۳].

۴. اینترنت اشیا و مدیریت منابع

یکی از مهم‌ترین چالش‌های اینترنت اشیا مربوط به تخصیص منابع موجود در کارها و وظایف است[۲۶]. ساده‌ترین تعریفی که می‌توان از تخصیص منابع به کارها ارائه داد این است که در سیستم، تعدادی کار برای انجام شدن وجود دارد. این کارها جهت اجرا شدن نیاز به منابع (اعم از فیزیکی و مجازی) دارند. با توجه به محدود بودن منابع در اینترنت اشیا، یک الگوریتم تخصیص منابع بهینه باید به صورتی عمل کند که کارها به صورت منصفانه و بدون ایجاد مشکل در کمترین زمان ممکن اجرا شوند. علاوه‌بر بحث زمان، مسائل دیگری مانند میزان انرژی مصرفی و تعادل بار در مورد نحوه ی تخصیص منابع در اینترنت اشیا بااهمیت است[۲۷]. امروزه با توجه به اینکه حجم زیادی از داده‌ها توسط اینترنت اشیا تولید می‌شود، ممکن است انتقال داده‌ها برای پردازش به ابر به‌دلیل حجم، تنوع و سرعت داده‌های تولیدشده با چالش‌هایی ازجمله افزایش زمان پاسخ به درخواست‌ها مواجه شود. فناوری محاسبات مه، امکان پردازش داده ها را در نزدیکی تجهیزات اینترنت اشیا فراهم می‌کند[۲۸]. این فناوری با حذف مسیر ارسال داده‌ها به ابر، موجب کاهش تأخیر در پاسخگویی به درخواست‌های کاربر می‌شود. دستگاه‌های اینترنت اشیا که حجم عظیمی از داده‌ها را جمع‌آوری می‌کنند، نیاز به تصمیم‌گیری در مورد بارگیری مناسب برای انتقال داده ها به گره های محاسبات مه دارند. گره های مه شامل ایستگاه‌های پایه، نقاط دسترسی، روترها و... هستند که می‌توانند منابع محاسباتی، ذخیره‌سازی و ارتباطی را با یکدیگر به‌اشتراک بگذارند تا برخی از کارهای محاسباتی را به‌صورت محلی و بدون تعامل با مرکز محاسبات ابری انجام دهند[۲۹]. بااین‌حال، بارگذاری وظایف حساس به تأخیر به‌دلیل محدودیت منابع گره‌های مه نسبت به ابر، یک مسئله‌ی تحقیقاتی چالش‌برانگیز است[۳۰]. زمانی که تعداد گره‌های مه از یک آستانه‌ی مشخص در شبکه تجاوز کند، ظرفیت انتقال بین گره های مه مجاور به یک فاکتور مهم برای بارگذاری کارهای حساس به تأخیر تبدیل می‌شود[۲۲]. برای دستیابی به عملکردی بهتر در محاسبات مه و کاهش تأخیر سیستم‌های بلادرنگ در شبکه اینترنت اشیا، نیاز به مدیریت مناسب منابع محاسباتی داریم[۳۱]. علاوه بر این، به‌اشتراک گذاری منابع بین گره‌های مه با چالش‌هایی ازجمله افزایش تأخیر، پهنای باند مصرفی و همچنین افت عملکرد شبکه همراه است[۲۵] که برای حل این چالش ها و بهبود عملکرد، در این مقاله یک روش پیشنهادی را برای بهبود تخصیص منابع به گره‌های مه ارائه شده است.

۵. الگوریتم بهینه سازی شیر مورچه

الگوریتم فراکتشافی شیر مورچه [۱][۳۲] از تعامل میان شیر مورچه و مورچه‌ی معروف معمولی در شکار الهام گرفته‌است. این الگوریتم نیز به مانند الگوریتم فراکتشافی ژنتیک، یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است. بنابراین در هر مرحله از اجرای الگوریتم، یک مجموعه جواب کاندید به‌دست می‌آورد. الگوریتم شیر مورچه یک جمعیت اولیه از مورچه ها را در اولین مرحله تولید می‌کند. یعنی یک مجموعه راه‌حل تصادفی به‌منظور حل مسئله ایجاد می‌شود. در مرحله‌ی دوم تعیین می‌کند مقادیری که به موقعیت مورچه داده‌شده، صحیح است یا نه. اما در گام سوم که مهم‌ترین بخش الگوریتم شیر مورچه است، در آن محاسبه‌ی تابع برازندگی مورچه انجام می‌شود. تابع شایستگی یک مورچه نشان‌دهنده این است که این راه‌حل تا چه مقداری بهینه بوده‌است. الگوریتم شیر مورچه از عکس‌العمل مورچه‌های در تله افتاده توسط شیر مورچه‌ها بهره می‌برد. آخرین مرحله‌ی شکار زمانی است که مورچه به پایین‌ترین

[1] Ant Lion Optimizer(ALO)

سطح کودل افتاده و در دهان شیر مورچه قرار می‌گیرد. سپس شیر مورچه، مورچه‌ی به دام افتاده را به داخل ماسه کشانده و می‌خورد. در به‌کارگیری این فرایند فرض بر این است که شکار زمانی صورت می‌پذیرد که مورچه داخل ماسه فرورفته باشد. بعد آن باید موقعیت مکانی شیر مورچه به جهت افزایش شانس شکار جدید نسبت به موقعیتی که مورچه را شکار کرده است، به‌روزرسانی گردد.

۶. بررسی کارهای پیشین

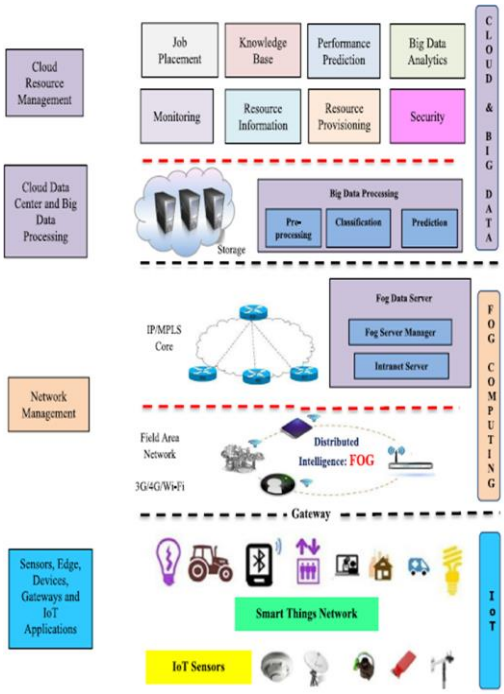
در فناوری اینترنت اشیا، تجهیزات $\mathcal{IoT}$ دارای قابلیت مختلف، منابع خود را به درخواست های کاربر اختصاص می‌دهند و مصرف‌کنندگان، وظایف خود را برای پردازش به این وسایل می‌دهند. مصرف‌کنندگان نگران عملکرد برنامه‌های خود هستند، درحالی‌که ارائه‌دهندگان بیشتر علاقه‌مند به استفاده‌ی مؤثر از منابع خود هستند. این منطق در حین تخصیص منابع نیاز به معیارهای بهینه‌سازی و تابع هدف دارد. بنابراین معیارهای بهینه‌سازی می‌تواند به دو دسته‌ی مطلوب مصرف‌کننده [۱]و مطلوب ارائه‌دهنده [۲]تقسیم‌بندی می‌شود. در این بخش سوابق علمی مرتبط با موضوع مقاله که در راستای این شاخص‌ها ارائه‌شده‌اند، بررسی گردیده است. با توجه به توزیع پیچیده و تحرک بالا دستگاه‌ها در محیط مه، منابع محاسباتی همچنان دارای تأخیر زیادی است. در مقاله‌ی [۳۳] یک روش تحت عنوان ناحیه مبتنی بر مه و ابر ($\mathcal{FBRC}$[۳]) را درنظر می‌گیرد که در آن درخواست‌ها به‌صورت محلی فقط توسط یک ناحیه اداره می‌شود و تنها در زمانی‌که منابع اضافی مورد نیاز باشد، توسط چندین ناحیه‌ی زمانی مدیریت می شود. در مقاله ی [۳۴] یک استراتژی تخصیص منابع برای محاسبات مه با استفاده از شبکههای پتری زمانی ارزش‌گذاری شده ($\mathcal{PTPN}$[۴]) پیشنهاد شده که توسط آن کاربر می‌تواند منابع موردنیاز خود را از یک گروه از منابع ازپیش‌تعیین‌شده انتخاب کند. این استراتژی جامع، هزینه‌ی مالی و هزینه‌ی زمانی را برای تکمیل وظایف و ارزیابی اعتبار کاربر و منابع مه لحاظ می‌کند. گو[۵] و همکارانش نیز در مقاله‌ی [۳۵]، محاسبات مه را با سیستم‌های پزشکی ترکیب کرده و روش $\mathcal{FC\text{-}MCPS}$ را ارائه داده‌اند. برای مقابله با مشکل بهره‌وری هزینه در $\mathcal{FC\text{-}MCPS}$، آن‌ها به‌طور پیوسته تعاملات ایستگاه پایه، توزیع وظایف و جای‌گذاری ماشین‌های مجازی را مورد بررسی قرار داده و یک الگوریتم اکتشافی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی دو مرحله‌ای را پیشنهاد داده‌اند. همچنین زنگ[۶] و همکارانش نیز در مقاله‌ی [۳۶]، مسئله‌ی کمینه کردن حداکثر زمان تکمیل وظایف را در سیستم‌های پزشکی پشتیبانی شده توسط محاسبات مه ($\mathcal{FC\text{-}SDES}$[۷]) مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها راه‌حل خود را به‌عنوان یک مسئله‌ی برنامه‌نویسی غیرخطی عدد مخلوط[۸] فرموله کرده‌اند. این طرح به‌طور مشترک نیازمندی های زمان تکمیل کار، هزینه‌های کاربر و عملکرد را برای به حداکثر رساندن سود ارائه‌دهنده‌ی سرویس و کاربر مه درنظر نگرفته‌اند. سوزا [۹]و همکارانش در مقاله‌ی [۳۷]، راه‌حلی برای مسئله‌ی تخصیص سرویس $\mathcal{QoS}$ آگاه برای معماری ترکیبی مه- ابر به‌عنوان یک مسئله‌ی بهینه سازی صحیح پیشنهاد کرده‌اند. راه‌حل آن‌ها تأخیر زمانی را حداقل کرده و ظرفیت‌های مورد نیاز را تضمین می‌کند. ژانگ [۱۰] و همکارانش [۳۸]، مسئله‌ی مدیریت منابع را در رایانش ابری و محاسبات مه مورد بررسی قرار داده و یک روش سلسله‌مراتبی با استفاده از تئوری بازی‌ها ارائه داده‌اند که از طریق تصمیم‌گیری‌های توزیع شده به بهره‌وری بالا دست می‌یابد. اعظم[۱۱] و همکارانش نیز در مقاله‌ی [۳۹] مدل مدیریت منابع سرویس‌گرا را برای محاسبات مه، ارائه داده‌اند که مدیریت کارامد و منصفانه منابع را برای استقرار در $\mathcal{IoT}$ عملی می‌سازد. این مدل می‌تواند میزان استفاده‌ی مشتریان از منابع را پیش‌بینی کند و منابع را براساس رفتار کاربر و احتمال استفاده از آن در آینده اختصاص دهد. در مقاله‌ی [۴۰] زمان‌بندی وظایف در یک سیستم ترکیبی ابر- مه ارائه شده‌است که یک سرویس‌دهنده‌ی مه می‌تواند از همکاری بین گره‌های مه خود و گره‌های ابر به‌طور مؤثر برای اجرای برنامه‌های کاربردی کاربران در مقیاس بالا استفاده نماید. رامش بابو [۱۲]و همکارش در [۴۱]، بر روی ایجاد یک بازار آنلاین برای مشتری و سرویس‌دهنده در جهت تخصیص منابع متمرکز شده‌اند. دینگ [۱۳] و همکارانش نیز [۴۲] روشی تحت عنوان چرتکه[۱۴] ارائه داده‌اند که یک چهارچوب مدیریت منابع عمومی برای حل این مشکل است. روش $\mathcal{Abacus}$ با کاربران از طریق مکانیزم حراج ارتباط برقرار می‌کند و به کاربران اجازه می‌دهد تا اولویت‌هایشان را براساس

[1] Consumer-Desire
[2] Provider-Disire
[3] Fog-based Region and Cloud
[4] Priced Timed Petri nets
[5] Gu
[6] Zeng
[7] Fog Computing Supported Medical Cyber-Physical System
[8] mixed-integer nonlinear programming problem
[9] Souza
[10] Zhang
[11] Aazam
[12] RemeshBabu
[13] Din
[14] Abacus

ویژگی های کار و بود جه موجود با به کارگیری تابع بهره‌وری[1] انتخاب کنند. براساس این اطلاعات، **Abacus** تخصیص بهینه را محاسبه می‌کند. کانگ [2] و همکارش [۴۳] یک الگوریتم تخصیص منابع پیشنهاد دادند که بازاری برای منابع ابری ایجاد می‌کند و عامل هایی برای منابع و سرویس ها درنظر می‌گیرد که در بازار موجود چانه‌زنی می‌کنند. الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر حراج است که سازگاری میان منابع و سرویس‌ها را فراهم می‌کند. ردی [3] و همکارانش در [۴۴] یک روش مبتنی بر منطق فازی با بازخوردگیری از وضعیت سیستم برای تخصیص منابع ارائه داده‌اند که بنابر نتایج به‌دست‌آمده عملکرد مطلوبی از نظر بهره‌وری منابع دارد. مالیکارجونا [4] در مقاله‌ی [۴۵]، یک مکانیزم زمان‌بندی فازی مبتنی بر اولویت را بر مبنای بازخوردگیری پویا ارائه داده است. روش ارائه‌شده، با الگوریتم های مختلفی مورد ارز یابی و تکمیل گرد ید که نتایج به‌دست‌آمده کارآمدی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۷. روش پیشنهادی

در محیط ناهمگون اینترنت اشیا و سیستم‌های مبتنی بر رایانش ابری، ماشین‌ها در نواحی مختلف قرار گرفته‌اند و توانایی پرداز شی، ویژگی‌ها (تعداد هسته‌های پردازشی، حافظه، پهنای باند و ...) و هزینه‌های مختلفی دارند. به‌علاوه، انعطاف‌پذیری و پویایی که توسط ابر فراهم می‌شود و برخی چالش‌های مهم مانند کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ی اقتصادی، پیچیدگی مسئله‌ی تخصیص منابع را در محیط ابر افزایش داده است. اگر $P_{i,j}$ زمان اجرای وظیفه j باشد، آنگاه $l_i = \sum P_{i,j}$ زمان تکمیل وظایف در ماشین مجازی i خواهد بود و درنتیجه ما $l_{max} = \max L_i$ را به صورت زمان تکمیل اجرا در تمام ماشین‌های مجازی می‌نامیم. برخی از وظایف موازی با سایر وظایف بر روی چند ماشین مجازی اجرا می‌گردد و برخی دیگر به صورت ترتیبی انجام می شود. مخزنی از منابع در محا سبات مه برا ساس تقا ضا فراهم شده ا ست. فهمیدن این‌که کدام منابع در زمان اجرا و پرو سه زمان‌بندی واقعاً در د سترس با شند کار آ سانی نیست. مدیریت جریان کاری برنامه‌های کاربردی مشکل است چون گراف جریان کاری به‌طور پویا در طول زمان تغییر می‌کند. مسئله سربار در هنگام تولید زمان‌بندی‌ها برای چند وظیفه با وابستگی‌های چندگانه‌ی خود یک چالش است، زیرا ممکن است بیش از یک کاربر درخواست یک منبع یکسان را داشته باشند و در تصمیم‌گیری این امر در حداقل زمان ممکن باید انجام شود. محا سبات مه مانند محاسبات لبه ،[5] به‌عنوان یک مدل برای ایجاد یک لایه‌ی مجازی بین کاربران نهایی و دیتاسنترهای محیط کلود معرفی شده‌است. محا سبات مه، توجه زیادی را جلب نموده ا ست، زیرا ا ستقرار سریع و سایل هو شمند امروزی و سیستم‌های مبتنی بر اینترنت ا شیا نیاز به سرویس‌دهی بلادرنگ و مقاوم در برابر تأخیر دارد. لایه‌ی مه برای کاهش تأخیر انتقال و ز مان پردازش و همین‌طور هزینه‌ی سرویس، بین کاربران و لایه‌های محیط ابری قرار می‌گیرد. در جهت پشتیبانی از تعداد انبوه وسایل هوشمند و بهبود عملکرد، یک الگوریتم زمان‌بندی و تخصیص منابع در لایه‌ی مه باید براساس سطح اولویت وظایف ارائه گردد. مدل تخصیص منابع طرح پایه تحت عنوان **ROUTER** در شکل (۳) نشان داده شده‌است.



شکل ۳. معماری مدیریت منابع در اینترنت اشیا[46]

در شکل (۳) مشاهده می‌شود که مدل جاری، شامل **N** سلول مه متفاوت است که در لایه‌ی مه با یکدیگر در ارتباط خواهند بود. هر سلول مه دارای یک مدیر سرویس‌دهنده‌ی مه است که مسئول مدیریت درخوا ست‌های ورودی ا ست. مدیر سرویس‌دهنده اقدام به جایابی سرویس‌ها در سلول‌های مه با استفاده از الگوریتم شیر مورچه می‌کند. برای این کار درخواست‌های کاربران محیط **IoT** از طریق برنامه‌های کاربردی دریافت و براساس وضعیت منابع

[1] utility function
[2] Kang
[3] Reddy
[4] Mallikarjuna
[5] Edge computing

موجود کار تخصیص منابع در محیط خانه‌های هوشمند انجام می‌شود. درخواست‌های دریافتی کاربران ممکن است ضرب‌الاجل‌های متفاوتی داشته باشد. بنابراین زمان‌بندی باید به‌گونه‌ای باشد که در زمان‌های مورد نظر، اجرای وظیفه تکمیل شود. ابتدا زمان سرویس [1]هر درخواست را محاسبه می‌کنیم. تلورانس زمانی (حداکثر زمان قابل‌قبول) که تفاضل زمان کنونی از ضرب‌العجل یک درخواست است، به‌صورت فرمول ۱محاسبه می‌گردد:

$$delay_i^T = (DL_i^T - C_i^T) \quad (۱)$$

مجموع زمان مورد نیاز گذرانده شده در لایه ی مه به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$W_i = W_i^Q + \mu_i \quad (۲)$$

که اولی مجموع زمان گذرانده شده در صف پردازش و دومی مجموع مدت‌زمان سرویس مورد نیاز برای درخواست $\mathbf{Reqí}$ است. $\mathbf{delayit}$ ماکسیمُم تأخیر اجازه داده‌شده به یک درخواست برحسب توافقات $\mathbf{SLA}$ است. برای رسیدن به ملزومات این توافق‌نامه برای درخواست $\mathrm{Req_i}$ باید شرایط زیر برقرار باشد:

$$w_i < delay_i^T \quad (۳)$$

در مدل پیشنهادی، ابتدا درخواست کاربر به‌صورت یک جریان کاری شامل وابستگی بین وظایف و در قالب یک نمودار $\mathbf{DAG}$ به سیستم داده می شود. به‌ازای هر درخواست ابتدا نیازمندی‌های منابع مختلف (قدرت پردازش، حافظه‌ی ذخیره‌سازی و پهنای باند) توسط مؤلفه‌ی تحلیل نیازمندی‌های برنامه‌ی کاربردی [2]استخراج می‌گردد. همچنین این مؤلفه وضعیت ترافیک درخواستی برنامه را از لحاظ بلادرنگ بودن تعیین می‌کند. درصورتی‌که کاربرد مورد نظر بلادرنگ نباشد و در مقابل تأخیر تا حدودی مقاوم باشد، درخواست به محیط ابری ارجاع داده می‌شود. اما اگر برنامه‌ی کاربردی مورد نظر نیاز به پاسخگویی بلادرنگ داشته باشد و حساس به تأخیر باشد، به صورت محاسبات مه با آن برخورد خواهد شد و به یکی از کلودلت‌ها نگاشته خواهد شد. در زمان سرویس‌دهی به درخواست‌ها، مؤلفه‌ی ارزیابی موجودی منابع در کلودلت‌ها به‌صورت مستمر میزان موجودی منابع [3]در لبه‌های شبکه را کنترل نموده و آخرین وضعیت منابع را در اختیار مؤلفه‌ی رتبه‌بندی کلودلت ها قرار می‌دهد. در طرح پیشنهادی، برای فاز اول، میانگین بار کاری کلودلت‌ها[4]ی مختلف (درخواست‌های کاربران) در برهه‌های قبلی ثبت و براساس آن بارکاری در برهه زمانی بعدی پیش‌بینی می‌شود. برای این کار در پنجره‌های زمانی مشخص اقدام به پایش تعداد درخواست های ورودی خواهیم نمود. در شکل ۴ می‌بینیم که داده‌های ورودی به‌صورت سری زمانی است. یک سری زمانی مجموعه‌ای از داده‌های آماری ا ست که در فوا صل زمانی م ساوی و منظمی جمع‌آوری شده باشند. روش های آماری که این‌گونه داده های آماری را مورد استفاده قرار می‌دهد، روش های تحلیل سری زمانی نامیده می‌شود. در بلوک تصمیم‌گیری، میزان درخواست ورودی برای هر کلودلت تعیین می‌گردد. در فاز دوم برای انتخاب بهترین تخصیص منابع جهت سرویس‌دهی به کاربران محیط $\mathbf{IoT}$ از الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه[5] ($\mathbf{ALO}$) استفاده می‌کنیم.

۱,۷ جمعیت اولیه‌ی مورچه‌ها و شیر مورچه‌ها

الگوریتم $\mathbf{ALO}$، تعامل بین شیر مورچه‌ها در تله را تقلید می‌کند. برای مدل‌سازی چنین تعاملاتی، مورچه ها ملزم‌اند در فضای جست‌وجو حرکت کنند و شیر مورچه‌ها مجاز به شکار کردن آن‌ها هستند و با استفاده از تله برازنده‌تر می‌شوند. در روش پیشنهادی از الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه برای بهبود مدیریت منابع در اینترنت اشیا استفاده شده‌است. شکل ۵ یک راه‌حل شیر مورچه را برای مدیریت منابع در اینترنت ا شیا را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این تصویر مشخص است، امکان ایجاد ترکیب‌های مختلفی از تخصیص منابع به درخواست‌های کاربران وجود دارد.

براساس شکل ۵ اندازه‌ی یک راه حل (طول بردار) در روش پیشنهادی، برابر تعداد وظایف درخواستی است. مقادیر خانه‌های ماتریس، شماره کلودلت تخصیص‌یافته برای انجام‌وظیفه $\mathbf{i}$ است. با توجه به توضیحات ارائه‌شده، در روش پیشنهادی موقعیت مورچه‌ها برای فرایند مدیریت منابع اینترنت اشیا در ماتریس ۴ ذخیره و استفاده می‌شود:

$$M_{Ant} = \begin{bmatrix} A_{1.1} & A_{1.d} \\ A_{n.1} & A_{n.d} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

در ماتریس ۴ فرض شده‌است که ماتریس $\mathbf{M_Ant}$ موقعیت تمام مورچه‌ها (متغیرهای تمام جواب‌ها) را در طول بهینه‌سازی ذخیره می‌کند. علاوه‌بر مورچه‌ها، در روش پیشنهادی فرض بر این است که شیر مورچه‌ها نیز در جایی از فضای جست‌وجو پنهان

[2] Applications requirement analysis

[3] Cloudlets resources analysis

[4] Cloudlets ranking

[5] Antlion Optimization

هستند. برای ذخیره‌سازی موقعیت شیر مورچه‌ها از ماتریس ۵ استفاده می‌شود:

$$M_{Antlion} = \begin{bmatrix} AL_{1.1} & AL_{1.d} \\ AL_{n.1} & AL_{n.d} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

که در آن $M_{Antlion}$ ماتریس مربوط به ذخیره‌سازی موقعیت هر شیر مورچه است، $AL_{i.j}$ نشان‌دهنده‌ی مقدار بُعد jام از شیر مورچه iام است، n تعداد شیر مورچه‌ها و d تعداد متغیرها (بُعد) است.

۲,۷ محاسبه برازندگی مورچه‌ها و شیر مورچه‌ها

برای ارزیابی هر راه‌حل، یک تابع برازندگی (هدف)، در طول بهینه‌سازی به‌کاررفته است. در طرح جاری سعی بر این است که در یک محیط با وجود نداشتن قطعیت در خصوص میزان بارکاری آتی کلودلت‌ها، اهدافی مانند کمینه کردن زمان پاسخ، انرژی مصرفی و شاخص عدم تعادل بار (DI) در تخصیص منابع به درخواست‌های ورودی در دسترس باشد. بر همین اساس برازندگی مورچه‌ها و شیر مورچه طبق رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌گردد. رابطه‌ی ۶ تابع برازندگی روش پیشنهادی را مدل‌سازی کرده است.

$$fitness(sol_i) = \frac{MAX(D) - D(sol_i)}{MAX(D)} + \frac{MAX(DI) - DI(sol_i)}{MAX(DI)} + \frac{MAX(E) - E(sol_i)}{MAX(E)} \quad (۶)$$

$D(sol_i)$ میانگین زمان پاسخ در تخصیص منابع به درخواست‌های کاربران، $E(sol_i)$ انرژی مصرفی در راه‌حل i و $DI(sol_i)$ شاخص عدم تعادل بار سلول‌های مه استفاده شده‌است. شاخص عدم تعادل بار براساس حداقل و حداکثر بارکاری تحمیل شده به سلول‌های مه محاسبه می‌گردد؛ این شاخص طبق رابطه ۷ مدل‌سازی می‌گردد.

$$\boldsymbol{DI = \frac{MAX(Load_f) - MIN(Load_f)}{AVE(Load_f)}} \quad (۷)$$

میزان انرژی مصرفی یک سلول مه به دو بخش مصرف انرژی ایستا و مصرف انرژی پویا تقسیم می شود. به شکلی که در زمان‌هایی که سلول مه فعال با شد، انرژی مصرفی ایستایی استفاده خواهد شد. به‌علاوه، براساس تعداد درخواست‌های تخصیص‌یافته بر روی سلول مه و بهره‌وری پردازنده و سایر منابع سلول مه انرژی پویا مصرف خواهد شد. میزان انرژی مصرفی سلول مه j به صورت روابط ۸ و ۹ محاسبه می‌شود:

$$\boldsymbol{E_j(t) = SE_j(t) + DE_j(t)} \quad (۸)$$

$$\boldsymbol{SE_j(t) = \begin{cases} Static_Energy(F_j) & if\ F_j(t)\ is\ active \\ 0 & otherwise \end{cases}} \quad (۹)$$

شکل ۴. پیش‌بینی درخواست‌های ورودی در مراکز داده

3	6	2	7	9	4	11	1

شکل ۵. ساختار یک نمونه راه‌حل در طرح پیشنهادی

میزان مصرف انرژی پویای هر سلول مه برا ساس درخوا ست‌های تخصیص‌یافته به سلول مورد نظر محاسبه می‌گردد. معادله‌ی ۱۰ مصرف پویای انرژی سلول مه jام را نشان می‌دهد.

$$DE_j(t) = U_j . load_j(t) \quad (۱۰)$$

به‌طوری که U_j بهره‌وری انرژی در سلول j و $load_j(t)$ میزان درخواست‌های ورودی به سلول j در آن برهه‌ی زمانی است. درنهایت مجموع انرژی مصرفی به‌صورت ۱۱ محاسبه می‌گردد.

$$E_j = \sum_t E_j(t) \quad (۱۱)$$

با توجه به تعریف و فرموله سازی شاخص‌های ا ستفاده شده در تابع برازندگی، انتظار بر این است که در روش پیشنهادی زمان پاسخ، انرژی مصرفی و همچنین کیفیت سرویس (میزان تعادل بار) بهینه گردد. تمامی نمادهای استفاده‌شده در جدول ۱، نمادهای استفاده‌شده در فرموله‌سازی روش پیشنهادی را نمایش می‌دهد.

جدول۱. نمادهای استفاده‌شده در روش پیشنهادی

نماد	توضیحات
F	سلول مه
$delay_i^T$	تلورانس زمانی انجام یک درخواست
D	زمان پاسخ
DI	شاخص عدم تعادل بار
$DE_j(t)$	انرژی مصرفی پویا در سلول j در زمان t
$SE_j(t)$	انرژی مصرفی ایستا در سلول j در زمان t
$load_j(t)$	میزان درخواست سرویس‌دهی برای سلول j در زمان t
U_j	بهره‌وری انرژی در سلولj
E_j	مجموع انرژی مصرفی

با توجه به توضیحات ارائه‌شده در روش پیشنهادی برای ارزیابی مورچه‌ها، از یک تابع برازندگی (هدف) در فرایند بهینه‌سازی استفاده خواهد شد. ماتریس ۱۲، مقدار برازندگی تمام مورچه‌ها را ذخیره می‌کند:

$$M_{OA} = \begin{bmatrix} f(A_{1.1}.A_{1.2}.\dots A_{1.d} \\ f(A_{n.1}.A_{n.2}.\dots.A_{n.d} \end{bmatrix} \quad (۱۲)$$

که در آن M_{OA} ماتریس مورد استفاده برای ذخیره نمودن برازندگی هر مورچه است، $A_{i.j}$ مقدار بُعد jام را نشان می‌دهد، n تعداد مورچه‌ها و f تابع هدف است. همچنین ماتریس ۱۳ برازندگی شیر مورچه‌ها را ذخیره می‌کند.

$$M_{OAL} = \begin{bmatrix} f([AL_{1.1}.AL_{1.2}.\dots.AL_{1.d} \\ f([AL_{1.1}.AL_{1.2}.\dots.AL_{1.d} \end{bmatrix} \quad (۱۳)$$

که در آن M_{OAL} ماتریس مربوط به ذخیره‌سازی برازندگی هر شیر مورچه است. $AL_{i.j}$ نشان‌دهنده‌ی مقدار بعد jام از شیر مورچه i ام است، n تعداد شیر مورچه‌ها و f تابع هدف است.

۳,۷ انتخاب نخبه

در این گام و پس‌ازآنکه برازندگی شیر مورچه‌ها محاسبه گردید، شیر مورچه‌ای که بالاترین میزان برازندگی را دارد، یعنی زمان پاسخ، انرژی مصرفی و همچنین کیفیت سرویس با آن بهینه بوده‌است، به‌عنوان نخبه انتخاب می‌گردد.

۴,۷ انتخاب شیر مورچه با چرخ رولت

در این گام به‌ازای هر مورچه از جمعیت اولیه‌ی مورچه‌ها یک شیر مورچه با استفاده از الگوریتم چرخ رولت انتخاب می‌شود. چرخ رولت یک عملگر انتخاب است که در روش پیشنهادی نیز از آن استفاده شده‌است.

۵,۷ به‌روزرسانی پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه

راه رفتن‌های تصادفی مورچه‌ها تحت تأثیر تله‌های شیر مورچه‌ها قرار دارد. به‌منظور مدل‌سازی ریاضی این فرضیه از دو پارامتر d و c استفاده شده‌است. پارامترهای موصوف توسط روابط ۱۴ و ۱۵ مدل‌سازی گردیده است. این مقادیر در هر تکرار الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه به‌روزرسانی می‌شود.

$$\boldsymbol{d_j^t = Antion_j^t + d^t} \quad (۱۴)$$

$$\boldsymbol{c_j^t = Antion_j^t + c^t} \quad (۱۵)$$

که در آن c^t مینیمُم تمام متغیرها در تکرار t ام، d^t نشان‌دهنده‌ی بردار شامل ماکسیمُم تمام متغیرها در تکرار t ام، c_j^t مینیمم تمام متغیرها برای مورچه i ام، d_j^t ماکسیمم تمام متغیرها برای مورچه i ام و $Antlion_j^t$ نمایانگر موقعیت شیر مورچه jام انتخاب‌شده در تکرار t ام است. معادلات بالا نشان می‌دهد که مورچه‌ها به‌طور تصادفی در یک فرا کره راه می‌روند که با بردارهای c و d پیرامون یک شیر مورچه انتخاب‌شده تعریف می‌شود.

با مکانیسم‌هایی که تا اینجا پیشنهادشده، شیر مورچه‌ها قادرند تله‌هایی را متناسب با برازندگی خود بسازند و مورچه‌ها ملزم به حرکت تصادفی هستند. بااین‌وجود پس‌ازآنکه شیر مورچه‌ها می‌فهمند که مورچه‌ای در تله وجود دارد، ماسه‌ها را به سمت بیرون از مرکز حفره پرتاب می‌کنند. این رفتار باعث لغزش مورچه محبوس به سمت پایین می‌شود که در تلاش برای فرار است. برای مدل‌سازی ریاضی این رفتار، راه رفتن‌های تصادفی مورچه‌ها به‌طور تطبیقی کاهش می‌یابد. معادلات ۱۶ و ۱۷ در این زمینه مطرح شده‌اند:

$$\boldsymbol{c^t = \frac{c^t}{I}} \quad (۱۶)$$

$$\boldsymbol{d^t = \frac{d^t}{I}} \quad (۱۷)$$

که در آن d^t حد بالای بازه در حلقه t، c^t حد پایین بازه در حلقه t و I نسبت کوچک کردن بازه در هر تکرار که از فرمول ۱۸ به‌دست می‌آید.

$$I = 10^W \frac{\boldsymbol{t}}{\boldsymbol{T}} \quad (۱۸)$$

که در آن t دوره‌ی کنونی، T ماکسیمم دوره‌ی تکرار، I ضریب کاهش فضای جست‌وجو و W وزن است. برای وزن W شرایط زیر حاکم است.

$w = 2\ when\ t > 0.1\ T$
$w = 3\ when\ t > 0.5\ T$
$w = 4\ when\ t > 0.75\ T$
$w = 5\ when\ t > 0.9\ T$
$w = 6\ when\ t > 0.95\ T$

این معادلات، شعاع به‌روزرسانی موقعیت‌های مورچه را منقبض کرده و فرایند لغزش مورچه در داخل حفره‌ها را تقلید می‌نمایند. این امر به استخراج فضای جست‌وجو کمک می‌کند.

۶,۷ اجرای عملگر پیاده‌روی تصادفی برای مورچه‌ها و نرمال‌سازی آن

ازآنجاکه مورچه‌ها در زمان جست‌وجوی غذا به‌صورت تصادفی در طبیعت حرکت می‌کنند، راه رفتن تصادفی برای مدل‌سازی حرکت مورچه‌ها به‌صورت ۱۹ انتخاب می‌شود:

$$X(t) = o.cumsum(2r(t_1) - 1).\ cumsun\ (2r(t_2) - 1).\dots.cumsum\ (2r(t_n) - 1) \quad (۱۹)$$

که در آن $cumsum$ جمع مرکب را محاسبه می‌کند، n تعداد ماکسیمم تکرارها است، t نشان‌دهنده‌ی مرحله‌ی راه رفتن تصادفی و $r(t)$ تابع تصادفی است که به‌صورت ۲۰ تعریف می‌شود:

$$\boldsymbol{r}\ (t) = \begin{cases} 1\ if\ rand\ > 0/5 \\ 0\ if\ rand \le 0/5 \end{cases} \quad (۲۰)$$

که در آن t نشان‌دهنده‌ی مرحله‌ی راه رفتن تصادفی و $rand$ یک عدد تصادفی تولیدشده با توزیع یکنواخت در بازه [۰، ۱] است.

مورچه‌ها موقعیت خود را با راه رفتن به‌صورت تصادفی در هر مرحله از بهینه‌سازی به‌روزرسانی می‌کنند. بااین‌وجود ازآنجاکه هر فضای جست‌وجو دارای یک مرز (بازه‌ی متغیر) است، مستقیماً برای به‌روزرسانی مورچه‌ها قابل‌استفاده نیست. به‌منظور حفظ راه رفتن‌های تصادفی در داخل فضای جست‌وجو، با استفاده از معادله‌ی ۲۱ (نرمال‌سازی مینیمم – ماکسیمم) نرمال می‌شوند:

$$X_i^t = \frac{(X_i^t - a_i) \times (d_i - c_i^t)}{(b_i^t - a_i)} + C_i \quad (۲۱)$$

که در آن a_i مینیمم راه رفتن تصادفی متغیر i ام، bi ماکسیمم راه رفتن تصادفی در متغیر i ام، c_i^t مینیمم متغیر i ام در تکرار t ام و d_i^t نشان‌دهنده‌ی ماکسیمم متغیر i ام در تکرار t ام است. این فرایند باید در هر تکرار برای تضمین وقوع راه رفتن‌های تصادفی در داخل فضای جست‌وجو اعمال شود.

۷,۷ جایگزینی شیر مورچه با مورچه

مرحله نهایی شکار در الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه زمانی انجام می‌شود که مورچه‌ای به کف حفره رسیده و در آرواره‌ی شیر مورچه محبوس می‌شود. برای تقلید از این فرایند، فرض می‌شود که گرفتن طعمه زمانی اتفاق می‌افتد که مورچه‌ها نسبت به شیر مورچه مربوطه، برازنده‌تر شوند (به داخل ماسه بروند). سپس شیر مورچه ملزم است موقعیت خود را به تازه‌ترین موقعیت مورچه شکار شده به‌روزرسانی کرده و شانس خود را برای گرفتن طعمه‌ی جدید ارتقا دهد. معادله‌ی ۲۲ در این زمینه است:

$$Antl\ ion_j^t = \begin{cases} Ant_i^t & if\ f(Ant_j^t) > f(Antl\ ion_j^t) \end{cases} \quad (۲۲)$$

که در آن t نشان‌دهنده‌ی دوره‌ی تکرار کنونی، $Antlion_j^t$ نمایانگر موقعیت شیر مورچه j ام منتخب در تکرار t ام و Ant_i^t نشانگر موقعیت مورچه i ام در تکرار t ام است. در این گام اگر برازندگی مورچه از شیر مورچه بالاتر باشد، مورچه به‌جای شیر مورچه جایگزین می‌شود.

۸,۷ نخبه‌گرایی

نخبه‌گرایی، مشخصه‌ی مهمی از الگوریتم‌های تکاملی است که به آن‌ها اجازه می‌دهد تا بهترین جواب(های) حاصل در هر مرحله از فرایند بهینه‌سازی را حفظ کند. در این پژوهش، بهترین جواب تا اینجا در هر تکرار ذخیره شده و به‌عنوان یک نخبه درنظر گرفته می‌شود. ازآنجاکه نخبه، برازنده‌ترین شیر مورچه است، باید قادر به اثرگذاری بر حرکات تمام مورچه‌ها در طول تکرارها باشد. بنابراین فرض می‌شود که هر مورچه به‌طور تصادفی و هم‌زمان با چرخ رولت و نخبه در اطراف یک شیر مورچه منتخب راه می‌رود:

$$Ant_i^t = \frac{R_A^t + R_E^t}{2} \quad (۲۳)$$

که در آن Ant_i^t مورچه i در دوره‌ی تکرار t، R_A^t راه رفتن تصادفی اطراف شیر مورچه توسط چرخ رولت در دوره‌ی تکرار t ام و R_E^t راه رفتن تصادفی اطراف شیر مورچه نخبه در دوره‌ی تکرار t ام است.

۹,۷ تخصیص منابع

گره‌های مه در مجاورت دستگاه‌های اینترنت اشیا، برای کاهش تأخیر در ارائه‌ی خدمات رویکردی امیدوارکننده هستند که این کار را به‌وسیله‌ی سپردن برخی از وظایف دستگاه‌های اینترنت اشیا به گره‌های مه انجام می‌دهند. با توجه به شرایط متغیر کانال، پویا بودن دائم محیط شبکه، متغیر بودن کیفیت لینک، بارهای ترافیکی و محاسبه‌ی بار، بهبود وضعیت کیفیت سرویس برای دستگاه‌های اینترنت اشیا یک چالش است. مهم‌ترین ویژگی رایانش مه، تعمیم دادن خدمات ابر تا لبه‌ی شبکه است چون قابلیت‌های سرویس آن در نزدیکی کاربر نهایی قرار دارد. در رایانش مه به‌جای اینکه همه‌ی محاسبات به ابر محاسباتی تزریق شود، ترجیح بر این است که اغلب محاسبات در نزدیک محلی که داده‌ها تولید می شوند انجام شوند. در این حالت می‌توان از هر وسیله‌ای که قادر به ذخیره‌سازی و پردازش داده باشد استفاده کرد. این ابزارها را منابع مه گویند. در روش پیشنهادی پس‌ازآنکه الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه بهترین راه‌حل ممکن را برای تخصیص وظایف در اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش مه ارائه داد (راه‌حلی که براساس آن زمان پاسخ، انرژی مصرفی و کیفیت سرویس "میزان تعادل بار" بهینه است)، براساس الگوی پیشنهادی، فرایند تخصیص وظایف انجام می‌گیرد.

۸ شبیه سازی و نتایج آزمایش ها

برای شبیه‌سازی و پیاده‌سازی روش پیشنهادی از نرم‌افزار متلب استفاده شده‌است. متلب یک محیط نرم‌افزاری برای انجام محاسبات عددی و یک زبان برنامه‌نویسی نسل چهارم است. مشخصات سیستمی که پیاده‌سازی بر روی آن انجام‌گرفته، در جدول ۲ معرفی شده‌است.

جدول ۲ مشخصات سیستم جهت پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی

مشخصات	مقدار
CPU	*Core i7*
RAM	*8 GB*
OS	*Windows 7*
MATLAB	*R2016*

همچنین در این مقاله از یک رویکرد مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه برای مدیریت منابع در اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش مه استفاده شده‌است. لذا پارامترهای شبیه‌سازی شامل پارامترهای مربوط به ساختار شبکه و پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه خواهد بود. جدول (۳) این پارامترها را معرفی می‌کند.

جدول ۳ معرفی پارامترهای شبیه‌سازی

ساختار	پارامتر	مقدار
اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش مه	زمان شبیه‌سازی	۳۰ دور
	تعداد سلول‌های مه	۲۰ سلول
	تعداد وظایف	۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰
	بیشینهٔ بار	۱۰۰
الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه	تعداد جمعیت اولیه	۵۰
	بیشینهٔ تکرار الگوریتم	۱۰۰
	شرط همگرایی	خاتمهٔ تکرار الگوریتم
	نوع الگوریتم	گسسته

برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی در مدیریت منابع اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش مه نیز از پنج شاخص انرژی مصرفی سلول‌های مه، زمان پاسخگویی، درجه‌ی عدم تعادل سلول‌های مه، تأخیر و پهنای باند استفاده گردیده است. در ادامه نیز یافته‌ها با نتایج رویکرد مقاله‌ی [۴۶] مقایسه شده‌است. جدول ۴ شاخص های ارزیابی این مقاله را معرفی کرده است.

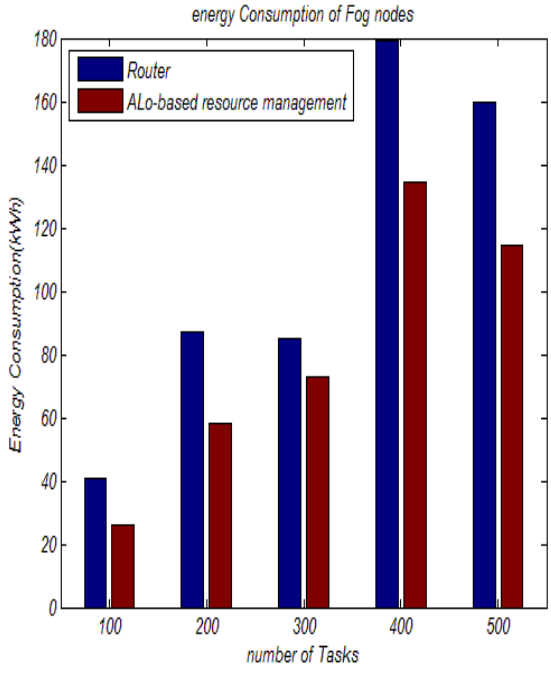
جدول ۴ . معرفی شاخص‌های ارزیابی

شاخص ارزیابی	توضیحات
پهنای باند	محدودهٔ فرکانسی که یک موج می‌تواند بدون تضعیف منتشر شود؛ به پهنای باند معروف است.
تأخیر	مدت‌زمانی است که طول می‌کشد تا به یک درخواست پاسخ داده شود. به عبارتی این شاخص معرف تأخیری است که از زمان ارائهٔ درخواست و تا دریافت پاسخ اتفاق می‌افتد و از جنس زمان است.
انرژی مصرفی	این شاخص ارزیابی، انرژی مصرفی سلول‌های مه به‌ازای منابع مدیریت‌شده را معرفی می‌کند.
عدم تعادل بار	این شاخص معیاری برای نشان دادن توزیع متعادل بار در سلول‌های مه است.
زمان پاسخ	در روش پیشنهادی مجموع زمان استقرار و زمان میانگین اجرا مشخص‌کنندهٔ زمان سرویس‌دهی یا زمان پاسخگویی خواهد بود.

نهایتا پس از پیاده سازی روش پیشنهادی برای ارزیابی کارایی آن در مدیریت منابع اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش مه، آزمایش ها به ازای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ وظیفه در پنج شاخص انرژی مصرفی سلول‌های مه، زمان پاسخگویی، درجه‌ی عدم تعادل سلول‌های مه، تأخیر و پهنای باند مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج این آزمایش ها در ادامه این بخش به صورت تفصیلی آمده است.

۱,۸ انرژی مصرفی سلول‌های مه

بررسی یافته به‌ازای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ وظیفه نشان می‌دهد که همواره میزان انرژی مصرفی سلول‌های مه در رویکرد پیشنهادی مقاله که یک روش مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه است (*ABRM*)، نسبت به طرح پایه (*ROUTER*) کمتر است. نمودار ۱ نتایج این بررسی را در مدیریت منابع نشان می‌دهد. تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها گویای آن است که میانگین انرژی مصرفی سلول‌های مه در روش پیشنهادی برابر با ۸۲,۶ کیلووات و برای طرح *ROUTER* برابر با ۱۰۸,۳ است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی مقاله توانسته است شاخص انرژی مصرفی در سلول‌های مه را به میزان درصد ۲۲ بهبود دهد. در این شاخص ارزیابی، روشی مطلوب‌تر است که میزان انرژی مصرفی در سلول‌های مه آن کمتر باشد.

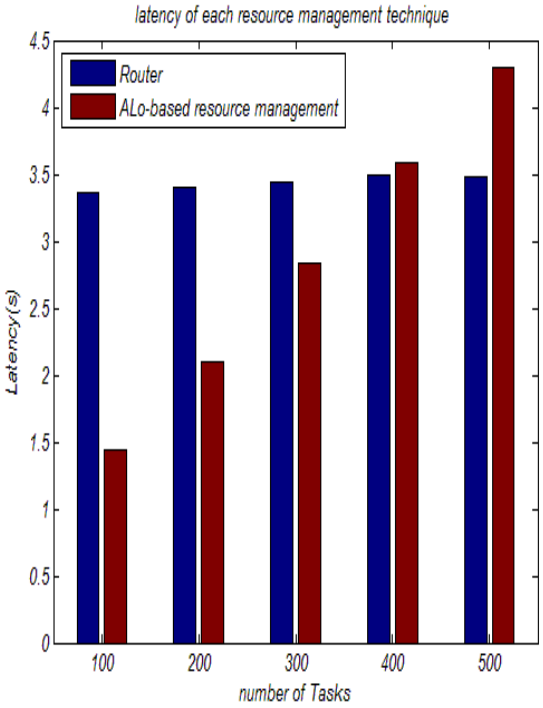


نمودار ۱ . مقایسه‌ی کارایی روش پیشنهادی و طرح پایه در شاخص انرژی مصرفی سلول‌های مه به‌ازای تعداد وظایف مختلف

۲,۸ تأخیر

در این بررسی، عملکرد پروتکل‌ها به‌ازای شاخص تأخیر مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته‌است. این شاخص میزان تأخیری که از زمان ارائه‌ی درخواست و تا دریافت پاسخ اتفاق می‌افتد را معرفی می‌کند. بررسی یافته به ازای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ وظیفه نشان می‌دهد که با افزایش تعداد وظایف، نرخ تأخیر در روش پیشنهادی

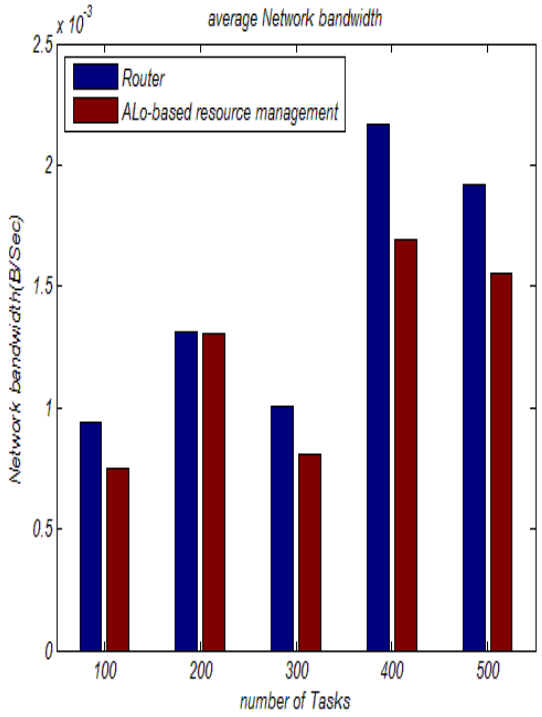
مقاله برای مدیریت منابع اینترنت اشیا افزایش می‌یابد. به عبارتی نرخ تأخیر در تعداد وظایف کم، کمتر و در تعداد وظایف بالا، بیشتر است. اما به‌صورت میانگین باز رویکرد پیشنهادی مقاله (*ABRM*) نسبت به طرح پایه (*ROUTER*) نرخ تأخیر کمتری دارد. نمودار ۲ نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها گویای آن است که میانگین نرخ تأخیر در روش پیشنهادی برابر با ۲,۸۴ ثانیه و برای طرح *ROUTER* برابر با ۳,۴۸ ثانیه است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی مقاله توانسته است نرخ تأخیر را در سلول‌های مه به میزان ۱۸ درصد بهبود دهد. در این شاخص ارزیابی، روشی مطلوب به‌شمار می‌رود که نرخ تأخیر کمتری در مدیریت منابع داشته باشد.



نمودار ۲ . مقایسه‌ی کارایی روش پیشنهادی و طرح پایه در شاخص تأخیر به‌ازای تعداد وظایف مختلف

۳,۸ پهنای باند

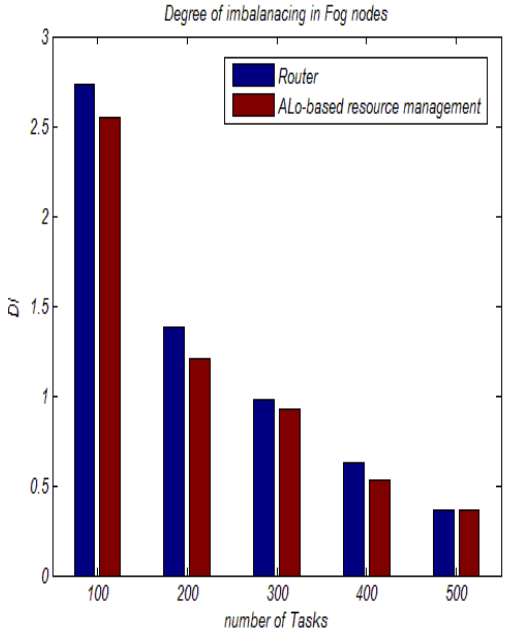
در این بررسی، عملکرد پروتکل‌ها به‌ازای شاخص پهنای باند مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته‌است. بررسی یافته به‌ازای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ وظیفه نشان می‌دهد که همواره به‌ازای تعداد وظایف مختلف، پهنای باند روش پیشنهادی مقاله (*ABRM*) نسبت به طرح پایه (*ROUTER*) کمتر است. نمودار ۳ نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها گویای آن است که میانگین نرخ پهنای باند در روش پیشنهادی برابر با ۱,۲۴ (بیت بر ثانیه) و برای طرح *ROUTER* برابر با ۱,۴۲ (بیت بر ثانیه) است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی مقاله توانسته است شاخص پهنای باند را به میزان ۱۲ درصد بهبود دهد. در این شاخص ارزیابی، روشی مطلوب به‌شمار می‌رود که پهنای باند کمتری مصرف کند.



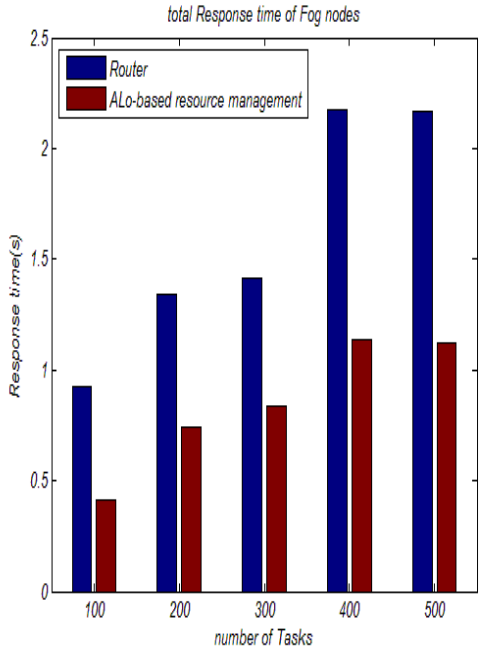
نمودار ۳ . مقایسه‌ی کارایی روش پیشنهادی و طرح پایه در شاخص پهنای باند به‌ازای تعداد وظایف مختلف

۴,۸درجه تعادل بار

در این بررسی، عملکرد پروتکل‌ها به‌ازای شاخص درجه‌ی تعادل بار مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته‌است. بررسی یافته به‌ازای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ وظیفه نشان می‌دهد که همواره به‌ازای تعداد وظایف مختلف، تعادل بار روش پیشنهادی مقاله (*ABRM*) نسبت به طرح پایه (*ROUTER*) بهتر است. همچنین در هر دو رویکرد با افزایش تعداد وظایف، تعادل بار پروتکل‌ها بهتر شده و شاخص عدم تعادل بار کاهش می‌یابد. نمودار ۴ نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها گویای آن است که میانگین عدم تعادل بار در روش پیشنهادی برابر با ۰/۹۵ و برای طرح *ROUTER* برابر با ۱,۲۳ است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی مقاله توانسته است شاخص عدم تعادل بار را به میزان ۲۲ درصد بهبود دهد. در این شاخص ارزیابی، روشی مطلوب به‌شمار می‌رود که عدم تعادل بار کمتری داشته باشد.



نمودار ۴. مقایسه‌ی کارایی روش پیشنهادی و طرح پایه در شاخص تعادل بار به‌ازای تعداد وظایف مختلف



نمودار ۵ . مقایسه‌ی کارایی روش پیشنهادی و طرح پایه در شاخص زمان پاسخ به‌ازای تعداد وظایف مختلف

۵،۸ زمان پاسخ

در این بررسی، عملکرد پروتکل‌ها به‌ازای شاخص زمان پاسخ مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته‌است. بررسی یافته به‌ازای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ وظیفه نشان می‌دهد که همواره به‌ازای تعداد وظایف مختلف، زمان پاسخ روش پیشنهادی مقاله (*ABRM*) نسبت به طرح پایه (*ROUTER*) بهتر است. همچنین در هر دو رویکرد با افزایش تعداد وظایف، زمان پاسخ پروتکل‌ها افزایش می‌یابد. نمودار ۵ نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها گویای آن است که میانگین زمان پاسخ در روش پیشنهادی برابر با ۰/۸۶ ثانیه و برای طرح *ROUTER* برابر با ۱،۶۴ ثانیه است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی مقاله توانسته است؛ شاخص زمان پاسخ را به میزان ۴۷ درصد بهبود دهد. در این شاخص ارزیابی روشی مطلوب به‌شمار می‌رود که زمان پاسخ کمتری داشته باشد.

۹ بحث و نتیجه گیری

در این مقاله برای تخصیص مناسب منابع، از پیش‌بینی بارکاری گره‌های مه در دوره‌ی زمانی بعدی با به‌کارگیری شبکه‌ی عصبی سری زمانی و برای حل مسئله تخصیص منابع متعلق به تجهیزات *IoT* به درخواست‌های کاربران از روش بهینه‌سازی شیر مورچه استفاده شده‌است. روش پیشنهادی یک رویکرد کاربردی است که در محیط نرم‌افزاری متلب شبیه سازی شده و برای ارزیابی عملکرد آن در مدیریت منابع اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش مه، از پنج شاخص انرژی مصرفی سلول‌های مه، زمان پاسخگویی، درجه‌ی عدم تعادل سلول‌های مه، تأخیر و پهنای باند استفاده گردیده است. بررسی یافته‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی انرژی مصرفی، نرخ تأخیر را در سلول‌های مه، پهنای باند مصرفی، تعادل بار و زمان پاسخگویی را در مقایسه با طرح پایه به ترتیب ۲۲، ۱۸، ۱۲، ۲۲ و ۴۷ درصد بهبود داده است. تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که ترکیب شبکه‌ی عصبی سری زمانی جهت بهبود تشخیص بارکاری گره های مه و تخصیص بهینه‌ی منابع به درخواست ها باعث شده‌است که روش پیشنهادی مقاله در تمامی شاخص‌های ارزیابی، عملکرد بهتری نسبت به طرح پایه داشته باشد. لذا می‌توان انتظار داشت که با تکیه‌بر روش *ABRM* (روش پیشنهادی مقاله) بهبود بهره‌وری منابع در اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش مه افزایش یابد. بدین طریق می‌توان گفت که با استفاده از روش پیشنهادی، تمامی اهداف پژوهش انجام شده‌است.

مراجع

[1] U. Z. A. Hamid, H. Zamzuri, and D. K. Limbu, "Internet of vehicle (IoV) applications in expediting the implementation of smart highway of autonomous vehicle: A survey," in *Performability in Internet of Things*: Springer, ۲۰۱۹, pp. ۱۵۷-۱۳۷.

[2] P. Podder, M. Mondal, S. Bharati, and P. K. Paul, "Review on the security threats of internet of things," *arXiv preprint arXiv:*۲۱۰۱,۰۵۶۱۴, ۲۰۲۱.

[3] S. Enshaeifar *et al.*, "The internet of things for dementia care," *IEEE Internet Computing,* vol. ۲۲, no. ۱, pp. ۸-۱۷, ۲۰۱۸.

[4] A. Čolaković and M. Hadžialić, "Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues," *Computer Networks,* ۲۰۱۸.

[5] K. B. Kiadehi, A. M. Rahmani, and A. S. Molahosseini, "A fault-tolerant architecture for internet-of-things based on software-defined networks," *Telecommunication Systems,* vol. ۷۷, no. ۱, pp. ۱۶۹-۱۵۵, ۲۰۲۱.

[6] J. Zhang, S. Rajendran, Z. Sun, R. Woods, and L. Hanzo, "Physical layer security for the Internet of Things: Authentication and key generation," *IEEE Wireless Communications,* vol. ۲۶, no. ۵, pp. ۹۲- ۹۸, ۲۰۱۹.

[7] S. Sankar, S. Ramasubbareddy, F. Chen, and A. H. Gandomi, "Energy-Efficient Cluster-based Routing Protocol in Internet of Things Using Swarm Intelligence," in ۲۰۲۰*IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, ۲۰۲۰, pp. ۲۲۴-۲۱۹: IEEE.

[8] Z. Sang, R. Fang, H. Lei, J. Yan, D. Yang, and Y. Wang, "The Internet of Things Based Fault Tolerant Redundancy for Energy Router in the Interacted and Interconnected Micro Grid," *International Journal on Artificial Intelligence Tools,* vol. ۲۹, no. ۰۷n۰۸, p. ۲۰۴۰۰۱۹, ۲۰۲۰.

[9] K. Sato and S.-i. Azuma, "Secure real-time control through fog computation," *IEEE Transactions on Industrial Informatics,* vol. ۱۵, no. ۲, pp. ۱۰۲۶-۱۰۱۷, ۲۰۱۸.

[10] S. Wang, Y. Ruan, Y. Tu, S. Wagle, C. G. Brinton, and C. Joe-Wong, "Network-aware optimization of distributed learning for fog computing," *IEEE/ACM Transactions on Networking,* ۲۰۲۱.

[11] D. Tychalas and H. Karatza, "A scheduling algorithm for a fog computing system with bag-of-tasks jobs: Simulation and performance evaluation," *Simulation Modelling Practice and Theory,* vol. ۹۸, p. ۱۰۱۹۸۲, ۲۰۲۰.

[12] J. Yao and N. Ansari, "Task allocation in fog-aided mobile IoT by Lyapunov online reinforcement learning," *IEEE Transactions on Green Communications and Networking,* vol. ۴, no. ۲, pp. ۵۵۶- ۵۶۵, ۲۰۱۹.

[13] 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. ۲۰۱۸, ۲۰۱۸.

[14] M. Nawir, A. Amir, N. Yaakob, and O. B. Lynn, "Internet of Things (IoT): Taxonomy of security attacks," in ۲۰۱۶ ۳*rd International Conference on Electronic Design (ICED)*, ۲۰۱۶, pp. ۳۲۱- ۳۲۶: IEEE.

[15] A. Oracevic, S. Dilek, and S. Ozdemir, "Security in internet of things: A survey," in ۲۰۱۷*International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)*, ۲۰۱۷, pp. ۶-۱: IEEE.

[16] F. A. Alaba, M. Othman, I. A. T. Hashem, and F. Alotaibi, "Internet of Things security: A survey," *Journal of Network and Computer Applications,* vol. ۸۸, pp. ۲۸-۱۰, ۲۰۱۷.

[17] Y. Yang, L. Wu, G. Yin, L. Li, and H. Zhao, "A survey on security and privacy issues in Internet-of-Things," *IEEE Internet of Things Journal,* vol. ۴, no. ۵, pp. ۱۲۵۸-۱۲۵۰, ۲۰۱۷.

[18] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future generation computer systems,* vol. ۲۹, no. ۷, pp. ۱۶۶۰-۱۶۴۵, ۲۰۱۳.

[19] E .T. Chen, "The Internet of Things: Opportunities, Issues, and Challenges," in *The Internet of Things in the Modern Business Environment*: IGI Global, ۲۰۱۷, pp. ۱۸۷-۱۶۷.

Conference on Telecommunications (ICT), ۲۰۱۶, pp. ۶-۱: IEEE.

[30] S. Pešić, M. Tošić, O. Iković, M. Ivanović, M. Radovanović, and D. Bošković, "Context aware resource and service provisioning management in fog computing systems," in *International Symposium on Intelligent and Distributed Computing*, ۲۰۱۷, pp. ۲۲۳-۲۱۳: Springer.

[31] K. M. Sim, "Intelligent Resource Management in Intercloud, Fog, and Edge: Tutorial and New Directions," *IEEE Transactions on Services Computing*, ۲۰۲۰.

[32] S. Lee and J. Y. Choeh, "Predicting the helpfulness of online reviews using multilayer perceptron neural networks," *Expert Systems with Applications*, vol. ۴۱, no. ۶, pp. ۳۰۴۶-۳۰۴۱, ۲۰۱۴.

[33] D. Hoang and T. D. Dang, "FBRC: Optimization of task scheduling in fog-based region and cloud," in ۲۰۱۷*IEEE Trustcom/BigDataSE/ICESS*, ۲۰۱۷, pp. ۱۱۱۴-۱۱۰۹: IEEE.

[34] L. Ni, J. Zhang, C. Jiang, C. Yan, and K. Yu, "Resource allocation strategy in fog computing based on priced timed petri nets," *ieee internet of things journal*, vol. ۴, no. ۵, pp. ۱۲۲۸-۱۲۱۶, ۲۰۱۷.

[35] L. Gu, D. Zeng, S. Guo, A. Barnawi, and Y. Xiang, "Cost efficient resource management in fog computing supported medical cyber-physical system," *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. ۵, no. ۱, pp. ۱۱۹-۱۰۸, ۲۰۱۵.

[36] D. Zeng, L. Gu, S. Guo, Z. Cheng, and S. Yu, "Joint optimization of task scheduling and image placement in fog computing supported software-defined embedded system," *IEEE Transactions on Computers*, vol. ۶۵, no. ۱۲, pp. -۳۷۰۲ ۳۷۱۲, ۲۰۱۶.

[37] V. B. C. Souza, W. Ramírez, X. Masip-Bruin, E. Marín-Tordera, G. Ren, and G. Tashakor, "Handling service allocation in combined fog-cloud scenarios," in ۲۰۱۶ *IEEE international conference on communications (ICC)*, ۲۰۱۶, pp. ۵-۱: IEEE.

[38] H. Zhang, Y. Xiao, S. Bu, D. Niyato, R. Yu, and Z. Han, "Fog computing in multi-tier data center networks: A hierarchical

[20] I. C. Ng and S. Y. Wakenshaw, "The Internet-of-Things: Review and research directions," *International Journal of Research in Marketing*, vol. ۳۴, no. ۱, pp. ۲۱-۳, ۲۰۱۷.

[21] J. Lin, W. Yu, N. Zhang, X. Yang, H. Zhang, and W. Zhao, "A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. ۴, no. ۵, pp. ۱۱۴۲-۱۱۲۵, ۲۰۱۷.

[22] H. Atlam, R. Walters, and G. Wills, "Fog computing and the Internet of Things: a review," *Big Data and Cognitive Computing*, vol. ۲, no. ۲, p. ۱۰, ۲۰۱۸.

[23] M. Aazam and E.-N. Huh, "Fog computing and smart gateway based communication for cloud of things," in *Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), ۲۰۱۴ International Conference on*, ۲۰۱۴, pp. ۴۷۰-۴۶۴: IEEE.

[24] R. Lu, K. Heung, A. H. Lashkari, and A. A. Ghorbani, "A lightweight privacy-preserving data aggregation scheme for fog computing-enhanced IoT," *IEEE Access*, vol. ۵, pp. ۳۳۱۲-۳۳۰۲, ۲۰۱۷.

[25] D. Puthal, M. S. Obaidat, P. Nanda, M. Prasad, S. P. Mohanty, and A. Y. Zomaya, "Secure and Sustainable Load Balancing of Edge Data Centers in Fog Computing," *IEEE Communications Magazine*, vol. ۵۶, no. ۵, pp. ۶۵-۶۰, ۲۰۱۸.

[26] S. Yousefi, F. Derakhshan, H. S. Aghdasi, and H. Karimipour, "An energy-efficient artificial bee colony-based clustering in the internet of things," *Computers & Electrical Engineering*, vol. ۸۶, p. ۱۰۶۷۳۳, ۲۰۲۰.

[27] T. F. Rahman, V. Pilloni, and L. Atzori, "Application Task Allocation in Cognitive IoT: A Reward-Driven Game Theoretical Approach," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. ۱۸, no. ۱۲, pp. ۵۵۸۳-۵۵۷۱, ۲۰۱۹.

[28] E. A. Khalil, S. Ozdemir, and S. Tosun, "Evolutionary task allocation in Internet of Things-based application domains," *Future Generation Computer Systems*, vol. ۸۶, pp. ۱۳۳-۱۲۱, ۲۰۱۸.

[29] E. Abd-Elrahman, H. Afifi, L. Atzori, M. Hadji, and V. Pilloni, "IoT-D۲D task allocation: An award-driven game theory approach," in ۲۳ ۲۰۱۶*rd International*

game approach," in ۲۰۱۶*IEEE international conference on communications (ICC)*, ۲۰۱۶, pp. ۶-۱: IEEE.

[39] M. Aazam and E.-N. Huh, "Dynamic resource provisioning through fog micro datacenter," in ۲۰۱۵*IEEE international conference on pervasive computing and communication workshops (PerCom workshops)*, ۲۰۱۵, pp. ۱۱۰-۱۰۵: IEEE.

[40] X.-Q. Pham and E.-N. Huh, "Towards task scheduling in a cloud-fog computing system," in ۱۸ ۲۰۱۶*th Asia-Pacific network operations and management symposium (APNOMS)*, ۲۰۱۶, pp. ۴-۱: IEEE.

[41] B. Neethu and K. R. Babu, "Dynamic resource allocation in market oriented cloud using auction method," in ۲۰۱۶ *International Conference on Micro-Electronics and Telecommunication Engineering (ICMETE)*, ۲۰۱۶, pp. -۱۴۵ ۱۵۰: IEEE.

[42] J. Ding, Z. Zhang, R. T. Ma, and Y. Yang, "Auction-based cloud service differentiation with service level objectives," *Computer Networks*, vol. ۹۴, pp. ۲۴۹-۲۳۱, .۲۰۱۶

[43] H. Wang, Z. Kang, and L. Wang, "Performance-aware cloud resource allocation via fitness-enabled auction," *IEEE transactions on parallel and distributed systems*, vol. ۲۷, no. ۴, pp. ۱۱۷۳-۱۱۶۰, .۲۰۱۵

[44] D. A. Reddy and P. V. Krishna, "Feedback-based fuzzy resource management in IoT using fog computing," *Evolutionary Intelligence*, pp. ۱۳-۱, .۲۰۲۰

[45] B. Mallikarjuna, "Feedback-Based Fuzzy Resource Management in IoT-Based-Cloud," *International Journal of Fog Computing (IJFC)*, vol. ۳, no. ۱, pp. ۲۱-۱, .۲۰۲۰

[46] S. S. Gill, P. Garraghan, and R. Buyya, "ROUTER: Fog enabled cloud based intelligent resource management approach for smart home IoT devices," *Journal of Systems and Software*, vol. ۱۵۴, pp. -۱۲۵ ۱۳۸, .۲۰۱۹