

The IoT Resource Allocation Improvement in Fog Computing Using Non-Cooperative Game Theory

H. Mohammady Talvar¹, H. Haj Seyyed Javadi², H. R. Navidi Ghaziani^{3*}, A. Rezakhani⁴

*Associate Professor Islamic Azad University, Boroujerd, Iran

(Received: 09/11/2021, Accepted: 18/11/2021)

ABSTRACT

A modern architecture called fog computing is used in the IoT-based network systems. Providing data services is economical and low latent in the fog computing architecture. This paper addresses the main challenge of allocating computing resources in fog computing. Solving the resource allocation challenge leads to increased profits, economic savings, and optimal use of the computing systems. In this survey, resource allocation has been improved by using the combined Nash equilibrium algorithm and the auction algorithm. In the proposed method, each player is assigned a specific matrix. Each player's matrix includes fog nodes, data service subscribers, and data service operators. At each stage of the algorithm, each player generates the best strategy based on the strategy of the other players. The results show the superiority of fog node utility and data service operator utility in the proposed method compared with the Stackelberg game algorithm. The first comparison is based on the changes of subscribers in which the productivity of the node with 240 used subscribers in the proposed method is 6852.8 whilst it is 5510.2 in the Stackelberg method with the same conditions. The second comparison is based on the service rate of the resource control blocks (μ) in which the productivity of the data service operator with $\mu=4$ in the proposed method is $1.35E + 07$ whilst it is $1E + 7$ in the Stackelberg method with the same conditions .

Keywords: Fog computing, Resource Allocation, IoT, Nash Equilibrium, Auction Algorithm

* Corresponding Author Email: navidi@shahed.ac.ir

بهبود تخصیص منابع اینترنت اشیا در محاسبات مه با استفاده از نظریه بازی غیر همکارانه

هوشیار محمدی تلوار^۱، حمید حاج سید جوادی^۲، حمیدرضا نویدی قاضیانی^{۳*}، افشین رضاخانی^۴

۱- محقق، گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد، بروجرد، ۲ و ۳- دانشیار، گروه کامپیوتر، دانشگاه شاهد، تهران،

۴- دانشیار، گروه کامپیوتر، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴)

چکیده

در سیستم‌های شبکه‌ای مبتنی بر اینترنت اشیا از یک معماری مدرن به نام محاسبات مه استفاده می‌شود. در معماری محاسبات مه ارائه‌ی خدمات داده اقتصادی و کم تأخیر است. این مقاله به حل چالش اصلی تخصیص منابع محاسباتی در رایانش مه می‌پردازد. حل چالش تخصیص منابع منجر به افزایش سود، صرفه‌جویی اقتصادی و استفاده‌ی بهینه از سیستم‌های محاسباتی می‌شود. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم ترکیبی تعادل نش و الگوریتم مزایده، تخصیص منابع بهبود یافته است. در روش پیشنهادی، به هر بازیکن یک ماتریس اختصاص داده شده است. ماتریس هر بازیکن شامل تخصیص گره‌های مه، مشترکین خدمات داده و اپراتورهای خدمات داده است. در هر مرحله از الگوریتم، هر بازیکن بر اساس راهبرد سایر بازیکنان بهترین راهبرد را تولید می‌کند. نتایج پژوهش نشان از برتری بهره‌وری گره مه و بهره‌وری اپراتور خدمات داده در روش پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم بازی استکلبرگ دارد. اولین مقایسه بر اساس تغییرات مشترکین صورت گرفته است که بهره‌وری گره مه با ۲۴۰ مشترک استفاده شده در روش پیشنهادی ۶۸۵۲/۸ بوده و در روش استکلبرگ با شرایط یکسان ۵۵۱۰/۲ می‌باشد. دومین مقایسه بر اساس نرخ سرویس بلوک‌های کنترلی منابع (μ) می‌باشد که بهره‌وری اپراتور خدمات داده‌ای با $\mu=4$ در روش پیشنهادی $1.35E+07$ بوده و در روش استکلبرگ با شرایط یکسان $1E+7$ می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: محاسبات مه، تخصیص منابع، اینترنت اشیا، تعادل نش، الگوریتم مزایده

پیشنهاد شده برای رایانش مه آلود یک معماری سه سطحی است. در این معماری سه سطحی مشترکین خدمات داده^۱، اپراتور خدمات داده و نودهای مه با یکدیگر تعامل می‌کنند [۱، ۲]. تعامل این سه عضو در معماری سه سطحی نیاز به ایجاد سازوکارهای جدیدی دارد تا اهداف توسعه رایانش مه آلود برای تحقق بخشیدن به کاربردهای اینترنت اشیا فراهم شود.

در این پژوهش یک شبکه محاسبات مه مخصوص که متشکل از مجموعه‌ای از اپراتورهای سرویس داده می‌باشد در نظر گرفته شده است که هر کدام مجموعه‌ای از گره‌های مه^۲ را کنترل می‌کنند تا خدمات داده مورد نیاز را به مجموعه مشترکین سرویس داده ارائه دهند. مهم‌ترین چالش در این زمینه چگونگی تخصیص منابع محاسباتی محدود گره‌های مه به کلیه مشترک‌های سرویس داده برای دستیابی به عملکرد مطلوب و پایدار می‌باشد؛ بنابراین، در این پژوهش یک چارچوب بهینه‌سازی مشترک برای همه گره‌های مه، اپراتورهای سرویس داده و مشترک‌های سرویس داده بر اساس الگوریتم بازی غیر همکارانه و

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توسعه سریع کاربردهای اینترنت اشیا^۱، تعداد دستگاه‌های متصل به شبکه اینترنت و به دنبال آن حجم داده تبادل شده بین آن‌ها به سرعت رشد شگرفی داشته است [۱]. حال تجزیه و تحلیل این حجم از داده نیازمند منابع زیاد محاسباتی و ذخیره‌سازی است. اگرچه این منابع به کمک فناوری محاسبات ابری^۲ و از طریق مراکز داده^۳ قابل تأمین می‌باشد اما به دلیل فواصل فیزیکی نسبتاً زیاد بین این مراکز و کاربر نهایی، هزینه‌ی گزاف تبادل داده و تأخیر در ارائه سرویس‌گرایان این کاربرد خواهد بود. باید به این نکته هم دقت نمود که IoT نیازمند تبادلات بلادرنگ^۴ و همچنین بعضاً سیار می‌باشد که این نیاز خود موضوع اخیر را چالش برانگیزتر می‌نماید. رایانش مه آلود^۵ برای غلبه بر این مشکل معرفی شده است. یکی از معماری‌های مرسوم

* رایانامه نویسنده مسئول: navidi@shahed.ac.ir

¹ Internet of things (IoT)

² cloud

³ Data centers

⁴ Real-Time

⁵ Fog computing

⁶ DSSs: Data Service Subscribers

⁷ FNs: Fog Nodes



نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- پیشینه تحقیق

تحقیقات متنوعی در مورد تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم رایانش مه توسط محققان انجام گرفته است که در ادامه بخشی از آن‌ها معرفی می‌شوند:

کاو^۲ و همکارانش در [۳] سامانه FAST را پیشنهاد داده‌اند که یک سیستم تحلیلی توزیع شده به کمک رایانش مه برای نظارت بر افتادن بیمارانی است که سکنه کرده‌اند. نویسندگان مجموعه‌ای از الگوریتم‌های تشخیص افتادن را توسعه داده‌اند که شامل الگوریتم‌های مبتنی بر اندازه‌گیری شتاب و روش‌های تحلیل سری‌های زمانی و همچنین روش‌های فیلتر کردن به منظور کمک به روند تشخیص افتادن است. آن‌ها یک سیستم تشخیص افتادن بی‌درنگ مبتنی بر رایانش مه طراحی کرده‌اند که وظیفه‌ی تشخیص افتادن را بین وسایل لبه‌ای و ابر تقسیم می‌کند. سیستم پیشنهادی در آزمایش با داده‌های بی‌درنگ به حساسیت و ویژگی بالایی دست یافته است. در عین حال، زمان پاسخ و مصرف انرژی نیز نزدیک به رویکردهای کارآمد موجود هستند.

استفاده‌ی دیگری از رایانش مه در مراقبت از سلامتی توسط استانچف^۳ و همکارانش ارائه شده است [۴]. آن‌ها یک معماری سه لایه‌ای برای زیرساخت مراقبت از سلامتی هوشمند ارائه کرده‌اند که متشکل از معماری ابر لایه‌ای، و یک لایه‌ی رایانش مه است که به منظور ارائه یک معماری کارآمد برای برنامه‌های کاربردی مراقبت از سلامتی و مراقبت از سالمندان می‌باشد. برنامه‌های کاربردی واقعیت افزوده بسیار حساس به تأخیر هستند، حتی تأخیرهای خیلی کوچک نیز می‌تواند به تجربه کاربر آسیب بزند. از این رو، رایانش مه پتانسیل این را دارد که یک بازیگر اصلی در حوزه‌ی واقعیت افزوده باشد.

زائو^۴ و همکاران در [۵] یک بازی تعاملی کامپیوتری مغز افزوده مبتنی بر رایانش مه و داده‌های پیوندی ساخته‌اند. هنگامی که شخصی این بازی را بازی می‌کند، جریان‌های خام داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگرهای EEG برای تشخیص وضعیت مغز بازیکن تولید و طبقه‌بندی می‌شوند. طبقه‌بندی وضعیت مغز جزو وظایف پردازش سیگنال با محاسبات بسیار

ترکیب دو الگوریتم مزایده و نقطه تعادل نش ارائه شده است طبق این الگوریتم‌ها زمانی که یک تخصیص منبع جدید برای سیستم انتخاب شد توابع مربوط به گره مه، مشترک سرویس داده و مشترک خدمات داده محاسبه می‌شود اگر مقدار توابع به دست آمده بر اساس این سیستم بهتر از بقیه راهبردها باشد به عنوان راهبرد غالب باعث حذف تمامی راهبردهای قبلی می‌شود که این کار باعث می‌شود سیستم از حافظه کمتر و بار محاسباتی کمتری برخوردار باشد و در هر بار تکرار بازی پس از انتخاب لیست راهبردها توسط الگوریتم نقطه تعادل نش فقط راهبرد غالب در لیست باقی بماند که این باعث بهینه‌گی سیستم می‌شود و می‌توان اطمینان داشت که بهترین تخصیص منبع روی خواهد داد؛ که نسبت به روش‌های مشابه مثل استکلبرگ عملکرد بهتری داشته است.

اگرچه در سال‌های اخیر تحقیقات نسبتاً زیادی در حوزه رایانش ابری و اینترنت اشیا صورت گرفته است، اما رویکرد بهره‌گیری از رایانش مه‌آلود در تحقق اهداف اینترنت اشیا جدیدتر بوده و هنوز بسیاری از مسائل و چالش‌های این حوزه در مرزهای دانش طبقه‌بندی می‌گردد. در بین این چالش‌ها مسئله تخصیص منابع خودنمایی بیشتری می‌نماید. باید دقت نمود که اگرچه تحقیقات معدودی در زمینه تخصیص منابع در رایانش ابری با تمرکز بر کاربردهای اینترنت اشیا صورت گرفته است اما از آنجایی که این مسئله در زمره مسائل بهینه‌سازی قرار دارد هنوز تحقیقات در رابطه با آن به نقطه انتهایی نرسیده است. از جنبه‌های نوآوری در این تحقیق می‌توان به تجمیع معماری‌های مطرح برای رایانش مه در کاربردهای اینترنت اشیا و پیشنهاد یک معماری مرجع، مدل‌سازی ریاضی نظریه بازی و مسئله تخصیص منابع در معماری پیشنهادی، طراحی یک مکانیسم کارا برای تخصیص منابع در رایانش مه را نام برد که دارای ویژگی‌های کلیدی چون کاهش چشمگیر ترافیک هسته شبکه، تخصیص عادلانه منابع به مشترکین، تخصیص بهینه منابع در گره‌های مه به معنای انطباق مناسب منابع موجود در آن‌ها با سطح نیاز مشترکین و ارتباطات لازم در اپراتورهای خدمات داده^۱ است.

سایر بخش‌های مقاله به شرح زیر تنظیم شده است. در بخش ۲ پیشینه تحقیق برخی از مفاهیم رایانش ابری (اینترنت اشیا)، محاسبات مه و کارهای مرتبط را معرفی می‌کند. روش پیشنهادی نظریه بازی در بخش ۳ معرفی شده است. عملکردهای ارزیابی مدل پیشنهادی در بخش ۴ توضیح داده شده است. در بخش ۵ یافته‌های اصلی تحقیق و برخی نکات نهایی در آن تحت عنوان

² cao

³ stantchev

⁴ zao

¹ DSOs: Data Service Operators

همچنین در مقاله‌ای دیگر، بایرز و همکاران به بررسی لزوم وجود رایانش مه‌آلود برای ایجاد هوشمندی توزیع شده در اینترنت اشیا پرداخته‌اند [۸]. این مقاله در مورد این که چرا به هوشمندی توزیع شده نیاز است بحث می‌کند، دلایل متعددی از قبیل مقیاس پذیری، حفظ منابع شبکه، نزدیک‌ترین حلقه کنترلی، حالت کششی، خوشه‌بندی از دلایل هوش توزیع شده مطرح شده‌اند. سپس در مورد نقش تحلیل‌های داده‌های بی‌درنگ بحث شده است. این مقاله بر روی خود گره‌های مه تمرکز کرده است و نسبت به مقاله‌های قبلی که یک دید کلی از رایانش مه را در نظر می‌گرفتند، جزئی‌تر رفتار نموده است. موضوع‌های پیشنهادی در این زمینه نیز می‌تواند بر روی هر یک از موارد ذکر شده جهت استفاده از رایانش مه در اینترنت اشیا باشد، یعنی بررسی روش‌های فیلتر کردن بسته‌ها در گره‌های مه جهت بهبود پهنای باند شبکه، بررسی روش‌های قابلیت اطمینان در گره‌های مه با کمترین میزان صرف انرژی در آن‌ها، و موارد مشابه دیگر که می‌توان آن‌ها را در قالب مسئله کلی تخصیص منابع در رایانش مه‌آلود طبقه‌بندی نمود.

آگاروال و همکاران در [۹] به فعال‌سازی خدمات اینترنت اشیا با تمرکز بر مشتریان در قالب یک معماری مبتنی بر رایانش مه‌آلود پرداخته‌اند. آن‌ها در این مقاله بیان کردند با توجه به نزدیکی رایانش مه‌آلود به کاربران انتهایی، مقاوم بودن در برابر توزیع‌شدگی جغرافیایی، بستر باز و پشتیبانی از تحرک بالا، بسترهای رایانش مه‌آلود می‌توانند سرویس‌ها را با تأخیر کاهش یافته و کیفیت سرویس بهبود یافته ارائه دهند. بنابراین رایانش مه‌آلود در حال تبدیل به یکی از توانمندسازهای مهم برای اینترنت اشیا مصرف‌کننده محور است که بر اساس سرویس‌ها و برنامه‌های کاربردی که نیاز به عملیات بی‌درنگ دارند می‌باشد. مثل خودروهای به هم متصل، مدیریت هوشمند تقاطع جاده و گرید هوشمند. این مقاله در مورد یک معماری برای خودروهای متصل شده با واحدهای کنار جاده و دروازه‌های M2M است که شامل رایانش مه‌آلود می‌باشد. در این مقاله به پردازش داده‌های M2M، کشف و مدیریت خودروهای به هم متصل به صورت خلاصه اشاره شده است. این مقاله به مبحث جدیدی نسبت به مقالات قبلی اشاره نموده است و در معماری‌های مطرح شده برای حوزه VANET نیز رایانش مه را وارد نموده است که ایده‌ی جالبی می‌باشد، چراکه فراهم نمودن اطلاعات بی‌درنگ برای خودروها نیز از اهمیت فراوانی برخوردار است و با توجه به سرعت بالای آن‌ها و همچنین لزوم اطلاع‌رسانی سریع به آن‌ها می‌توان رایانش مه را به‌عنوان یک بستر مؤثر در این زمینه معرفی نمود. ایده‌ای که از این مقاله به ذهن می‌رسد این است که در امنیت VANET همیشه انرژی زیادی از خودروها مصرف می‌شود.

سنگین است، ولی در این مورد نیاز است که این محاسبات سنگین به صورت بی‌درنگ انجام شود. سیستم ارائه شده هم سرورهای ابری و هم سرورهای مه را به کار می‌گیرد، ترکیبی که ممکن می‌سازد تا سیستم طبقه‌بندی وضعیت مغز را به صورت بی‌درنگ و مداوم در سرورهای مه انجام دهد، درحالی که مدل‌های طبقه‌بندی به طور منظم در سرورهای ابری بر اساس خواننده‌های EEG توسط حسگرها تنظیم می‌شوند.

ژو^۱ و همکاران در [۶] در مورد استفاده از سرورهای لبه‌ای برای بهبود عملکرد وبسایت‌ها بحث کرده‌اند. کاربران از طریق گره مه به اینترنت وصل می‌شوند، از این رو هر درخواست HTTP ایجاد شده توسط کاربر باید از یک وسیله مه عبور کند. وسیله مه تعدادی از بهینه‌سازی‌ها را انجام می‌دهد تا مقدار زمانی را که کاربر باید برای بارگذاری صفحه وب درخواست شده منتظر بماند کاهش دهد. به‌عبارت‌دیگر بهینه‌سازی‌های عمومی مانند نهان^۲ نمودن اجزای HTML، سازمان‌دهی مجدد ترکیب‌بندی صفحه وب، کاهش اشیا وب و همچنین وسایل لبه‌ای بهینه‌سازی‌هایی را انجام می‌دهند که رفتار کاربر و شرایط شبکه را نیز در نظر بگیرند. برای مثال در مورد تراکم شبکه، وسیله لبه‌ای ممکن است گرافیکی با وضوح پایین را به کاربر ارائه دهد تا به زمان‌های پاسخ قابل قبولی برسد. علاوه بر این، وسیله لبه‌ای می‌تواند عملکرد ماشین‌های سرویس‌گیرنده را نیز نظارت کند و بسته به زمان ترجمه مرورگر، گرافیک‌هایی با وضوح مناسب را ارسال نماید.

رائو و همکاران در [۷] بیان کردند که اینترنت اشیا (IoT) مفهومی است که همه اشیا اطراف ما را به‌عنوان بخشی از اینترنت تصور می‌کند. پوشش IoT بسیار گسترده است و شامل اشیا مختلفی مانند تلفن‌های هوشمند، تبلت، دوربین‌های دیجیتال، حس‌گرها و غیره می‌شود. هنگامی که همه این دستگاه‌ها به یکدیگر متصل شوند، فرآیندها و خدمات هوشمند بیشتری را پشتیبانی می‌کنند که نیازهای اساسی و اقتصادی ما را پشتیبانی می‌کند. آن‌ها در این مقاله، شرح دادند که چگونه اینترنت اشیا و رایانش ابری می‌توانند باهم کار کنند و مسائل بزرگ داده را برطرف کنند. آن‌ها همچنین در مورد حسگر به‌عنوان یک سرویس در ابر با استفاده از چند برنامه مانند واقعیت افزوده، نظارت بر محیط و محیط‌زیست توضیح داده‌اند و یک مدل اولیه برای ارائه حسگر به‌عنوان یک سرویس در ابر ارائه دادند.

^۱ zhu
^۲ cache

الصفار و همکاران در [۱۲] معماری نمایندگی خدمات IoT را بر اساس همکاری بین رایانش مه و ابر معرفی کردند. آن‌ها یک الگوریتم تخصیص منابع برای برآورده ساختن محدودیت‌های QoS و SLA و نیز بهینه‌سازی توزیع داده‌های حجیم در رایانش مه و ابر ارائه دادند. نتایج شبیه‌سازی گزارش شده نشان می‌دهد که معماری پیشنهادی به‌طور مؤثر می‌تواند حجم کاری را متعادل و تخصیص منابع را بهبود بخشد و عملکرد بهتر نسبت به روش‌های موجود دیگر را نشان دهد.

شهیدی نژاد در [۱۳] یک پروتکل احراز هویت متقابل برای کاربران خدمات اینترنت اشیا ارائه داده است. وی برای ارزیابی رسمی عملکرد پروتکل، از ابزار AVISPA استفاده نموده و همچنین برای تحلیل هزینه زمانی و هزینه ارتباطی پروتکل از MatLab استفاده کرده است. در چارچوب پیشنهادی این مقاله سه نوع ارتباط امن و مهم وجود دارد. این ارتباط‌ها عبارتند از: ارتباط بین کاربرها و مرکز شخص ثالث، ارتباط بین خدمات دهنده‌های ابری و مرکز شخص ثالث و ارتباط بین کاربرها و خدمات دهنده‌های ابری. به‌طور مشخص هر نوع ارتباط باید با تأیید مرکز شخص ثالث انجام شود. در روش پیشنهادی مرکز شخص ثالث که در ابر مستقر است وظیفه کنترل و نظارت بر امنیت خدمات و عملکرد کاربرها را به عهده دارد. این خدمات شامل ثبت نام، احراز هویت و برقراری ارتباط امن بین کاربرها و خدمات دهنده‌ها است. نتایج به‌دست آمده نشان داده‌اند که روش پیشنهادی در ارزیابی رسمی توسط دو ابزار OFMC و cl-AtSe ایمن است و به‌علاوه نسبت به روش‌های پیشین هزینه محاسباتی کمتر و هزینه ارتباطی کمتری دارد. مباحث امنیتی مربوط به پایگاه داده در ارائه‌دهنده ابر در این مطالعه مورد توجه قرار نگرفته است.

روی و باومیک در [۱۴] در مورد بازی‌های ماتریسی با بازده به‌صورت فازی بصری مثلثی نوع ۲ اعداد به‌عنوان یک ایده مدرن بحث کردند.

باومیک و همکاران در [۱۵] بر روی یک بازی ماتریسی تمرکز کردند که بازده آن اعداد فازی شهودی مثلثی است. نویسندگان همچنین بر استفاده از یک روش رتبه بندی محکم برای رتبه‌بندی اعداد فازی برای حل بازی ماتریس متمرکز شده‌اند.

باومیک و همکاران در [۱۶] بازی معضل زندانیان را برای حل مشکل قاچاق انسان که یکی از بزرگ‌ترین مشکلات جامعه امروز است، مطالعه کردند. نویسندگان با استفاده از تعادل نش در بازی با جمع غیر صفر، نتایج ایده‌آلی به‌دست آوردند.

از این رو می‌توان از رایانش مه برای کاهش پیچیدگی محاسباتی مفاهیم امنیتی نیز استفاده کرد.

اعظم و هُو در [۱۰] اشاره کرده‌اند که تازگی، فراگیر بودن و همه‌جا حاضر بودن سرویس‌های محاسباتی برای محققین و توسعه‌دهندگان این سرویس‌ها مورد توجه بوده است. ایشان اشاره نموده‌اند که با توجه به این که ابزارهای مختلف انواع متفاوتی از داده را با فرکانس‌های گوناگون تولید می‌کنند و نیز به دلیل بی‌درنگ بودن برخی از این سرویس‌های داده مانند سرویس‌های اورژانس، بهداشت و درمان و خدمات مشابه دیگر زمان پاسخ بسیار حیاتی خواهد بود. همچنین تصمیم‌گیری در مورد نوع داده‌ای که باید بدون مزاحمت برای هسته شبکه و ابر به داخل ابر بارگذاری شود بسیار ضروری است. به همین دلیل رایانش مه‌آلود نقشی بسیار مهم در این رابطه ایفا می‌نماید. هدف از مدیریت منابع، انجام پالایش داده، پیش‌پردازش و ارزیابی‌های امنیتی است. از این رو رایانش مه‌آلود به یک چارچوب مدیریت منابع مناسب و مؤثر نیاز دارد. علاوه بر این با توجه به این که این رایانش با گره‌های سیار و همچنین اشیاء و ابزارهای متنوع در ارتباط با اینترنت اشیا مواجه است، لذا یک رفتار اتصال نوسانی در آن وجود دارد. تمامی انواع خدمات مشتریان احتمال واگذاری غیرقابل پیش‌بینی دارند و هر شیء یا ابزار می‌تواند در هر لحظه از زمان بهره‌برداری از منابع را متوقف سازد. در روش پیشنهادی برای تخمین و مدیریت منابع این فاکتورها در نظر گرفته شده و مدیریت منابع را بر اساس احتمال واگذاری نوسان‌دار مشتری، نوع سرویس، بهای سرویس و واریانس احتمال واگذاری فرمول‌بندی کرده‌اند. آن‌ها سرویس پیشنهادی خود را با جاوا پیاده‌سازی نموده و در CloudSim ارزیابی نموده‌اند. نتایج نهایی حاکی از آن است که فاکتورهای در نظر گرفته شده می‌تواند در تخمین نیاز به منابع یاری‌رسان باشد.

مونیر و همکاران در [۱۱] یک مدل یکپارچه ابر و مه (IFCIOT) با هدف بهبود عملکرد، بهره‌وری انرژی، کاهش تأخیر، مقیاس‌پذیری و دقت محلی برای برنامه‌های کاربردی IoT پیشنهاد داده‌اند. نویسندگان این کار همچنین در مورد برنامه‌های کاربردی بالقوه از معماری IFCIOT، مانند سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، نقشه‌ها، آب‌وهوا محلی و نظارت بر محیط‌زیست، شهرهای هوشمند و تجزیه و تحلیل و کنترل داده‌های کشاورزی توضیح می‌دهند. تا بهتر دیده شوند و عملکرد و انرژی و برنامه‌های کاربردی حساس به زمان را بهبود بخشند. نویسندگان همچنین معماری گره مه یا معماری لبه قابل تنظیم و لایه‌ای را پیشنهاد دادند که می‌تواند با توجه به حجم کاری که در یک زمان خاص اجرا می‌شود سازگار باشد.

در جدول (۱) ارزیابی دو مورد از کارهای پیشین که قابلیت مقایسه با روش پیشنهادی را داشتند آورده شده است.

جدول (۱): مقایسه‌ی روش پیشنهادی با کارهای پیشین

روش	بهره‌وری اپراتور خدمات داده‌ای	بهره‌وری گره مه
بازی استکلبرگ [۱]	بالا	بالا
بازی سلسله مراتبی [۲]	خوب	خوب
پیشنهادی	بسیار بالا	بسیار بالا

۳- روش پیشنهادی

نظریه بازی‌ها شاخه‌ای از ریاضیات است که با استفاده از آن می‌توان رفتار عامل‌های منطقی را در شرایط تصمیم‌گیری که در آن‌ها موفقیت فرد در انتخاب کردن، وابسته به انتخاب دیگران می‌باشد را به دست آورد. نظریه بازی در مطالعه طیف گسترده‌ای از موضوعات کاربرد دارد. از جمله نحوه تعامل تصمیم‌گیرندگان در محیط رقابتی به شکلی که نتایج تصمیم هر عامل مؤثر بر نتایج کسب‌شده سایر عوامل می‌باشد. نظریه بازی تلاش می‌کند تا رفتار ریاضی حاکم بر یک موقعیت راهبردی را مدل‌سازی کند. این موقعیت زمانی پدید می‌آید که موفقیت یک فرد وابسته به راهبردهایی است که دیگران انتخاب می‌کنند. هدف نهایی این دانش یافتن راهبرد بهینه برای بازیکنان است. یک بازی شامل مجموعه‌ای از بازیکنان، مجموعه‌ای از حرکات یا راهبردها و نتیجه مشخصی برای هر ترکیب از راهبردها می‌باشد. پیروزی در هر بازی تنها تابع یاری شانس نیست بلکه اصول و قوانین ویژه خود را دارد و هر بازیکن در طی بازی سعی می‌کند با به کارگیری آن اصول خود را به برد نزدیک کند. رقابت دو کشور برای دستیابی به انرژی هسته‌ای، سازوکار حاکم بر روابط بین دو کشور در حل یک مناقشه بین‌المللی، رقابت دو شرکت تجاری در بازار بورس کالا نمونه‌هایی از بازی‌ها هستند.

۳-۱- معرفی انواع الگوریتم‌های تخصیص منبع

نظریه بازی^۲ ابزاری ریاضی برای تحلیل فرآیندهایی می‌باشد که در آن تصمیم‌گیرنده‌هایی حضور دارند که در تقابل^۳ با یکدیگر عمل می‌کنند. در واقع این شاخه از علم تحقیق می‌کند در چنین شرایطی که امان‌هایی با انگیزه‌هایی متضاد شرکت دارند، چه اتفاقی خواهد افتاد. برای بررسی هر فرآیندی نیاز به مدل کردن آن فرآیند به کمک یک بازی داریم. هر بازی از ۳ امان اصلی مجموعه بازیکنان، مجموعه راهبردها و مجموعه ترجیحات تشکیل می‌شود.

روی و باومیک در [۱۷] در خصوص افزایش بسیاری از مشکلات موردشک و ابهام در طبیعت بحث کردند سپس، نویسندگان یک بازی ماتریسی را برای حل پیشنهاد کردند. در این مقاله تأکید شده که عدم قطعیت در مشکلات تصمیم‌گیری مانند نظریه بازی اهمیت دارد. این مقاله محیط neutrosophic را برای حل بازی‌های دو ماتریسی پیشنهاد داده است، نتایج این مقاله برتری روش نظریه بازی در حل مسائل نسبت به سایر روش‌های متداول را نشان می‌دهد.

باومیک و همکاران در [۱۸] در مورد توسعه و تجزیه و تحلیل یک بازی ماتریسی با چندین هدف بحث نموده‌اند.

باومیک و همکاران در [۱۹] مجموعه فازی شهودگرایانه را عملاً در تصمیم‌گیری‌های مختلف پیشنهاد کردند. هدف اصلی این مقاله گسترش رویکردی برای حل بازی‌های ماتریسی با چندمعیاره^۱ است. سرانجام، نتایج این بازی‌های ماتریسی با الگوریتم‌های موجود مقایسه می‌شود تا مزایای این الگوریتم را نشان دهد.

عمار و همکاران در [۲۰] در مورد حل بازی‌های دیفرانسیل مداوم دونفره با جمع صفر با استفاده از یک رویکرد برنامه نویسی بحث کردند. سرانجام، با یک مثال عددی نتیجه نظری را تأیید کردند.

میرک و همکاران در [۲۱] یک مدل محاسباتی برای تخلیه بار برنامه‌های اینترنت اشیا در لبه شبکه در نظر گرفته‌اند. آن‌ها رقابت را به عنوان یک بازی مدل کردند که در آن تصمیم‌گیری دستگاه‌های اینترنت اشیا را برای توزیع بهینه وظایف بررسی نمودند. آن‌ها همچنین یک الگوریتم توزیع غیرمتمرکز وظایف که در آن بازیکنان یاد می‌گیرند راهبرد خود را بر اساس اقدامات دیگر بازیکنان به روز کنند پیشنهاد دادند. آن‌ها ثابت کردند که راه حل الگوریتم پیشنهادی به تعادل نش همگرا می‌شود. در نهایت ارزیابی‌های گسترده‌ای انجام داده و مدل محاسباتی و نتایج خود را با مطالعات موجود مقایسه کردند که نشان‌دهنده برتری مدل پیشنهادی می‌باشد.

خودهور و همکاران در [۲۲] یک مدل شبکه wlan را با رویکرد نظریه بازی پیاده‌سازی کردند، آن‌ها بیان کردند که رویکرد نظریه بازی به خودی خود ائتلافی بین کاربران دارد و منابع را به طور عادلانه به آن‌ها تخصیص می‌دهد، نتایج شبیه‌سازی با تمرکز بر ترافیک شبکه، این واقعیت را تأیید کرده است که بازی همکارانه و ائتلافی عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم Round Robin دارد.

² Game theory

³ interaction

¹ multi-criteria matrix games

شبکه‌های محاسبه می‌تواند شامل تعداد زیادی FN باشند که توسط DSOهای مختلف در مکان‌های مختلف برای ارائه خدمات به DSSها مستقر شده‌اند. هنگامی که DSSها می‌توانند خود و همچنین FNهای مربوطه را برای افزایش کیفیت خود انتخاب کنند، چگونگی تخصیص منابع گره‌های مه در DSSها به‌عنوان یک چالش مهم نمایانگر می‌شود. در این پژوهش تمرکز اصلی روی مسئله انتخاب منابع و تخصیص منابع بین FNها، DSOها و DSSها می‌باشد.

در این معماری DSOها قیمت خدمات خود را در اولویت قرار می‌دهند و DSSها تعداد بهینه بلوک‌های منبع محاسباتی (CRB) را خریداری می‌کنند. هنگامی که قیمت DSOها و منابع خریداری شده DSSها به‌دست آمد، هر DSS می‌تواند بداند که چند CRB مورد نیاز است و بعد می‌تواند برای CRBهای متعلق به FNهای مجاور رقابت کند. بر این اساس باید ابتدا الگوریتم پیشنهادی بتواند DSO مناسب برای DSS را انتخاب کند. در مرحله بعد DSO بتواند FNهای مناسب را انتخاب کند و در مرحله آخر FN به انتخاب CRB بهینه خواهد پرداخت.

۳-۳- معرفی پارامترهای روش پیشنهادی

برای بیان رسمی روش پیشنهادی و با توجه به تعریف مشخصی که از مسئله تخصیص منبع در مباحث قبل ارائه شد، پارامترهای درگیر این مسئله در این بخش معرفی خواهند شد. جدول (۲) این پارامترها را معرفی نموده است.

جدول (۲): پارامترهای روش پیشنهادی

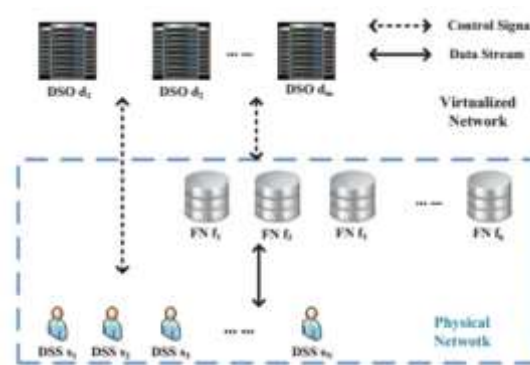
عنوان پارامتر	شرح
M	تعداد کل DSOها
N	تعداد کل DSSها
K	تعداد کل FNها
Ψ	مجموعه‌ای از DSOها
Υ	مجموعه‌ای از DSSها
Ω	مجموعه‌ای از FNها
μ	نرخ سرویس CRBها
λ_j	نرخ ورود بار کاری برای مشترک s_j
r_i	قیمت تعیین شده توسط اپراتور خدمات داده‌ای o_i برای هر واحد از CRB مجازی
L_j^s	لیست اولویت مشترکین بر روی اپراتورهای خدمات داده‌ای جهت پردازش
t_j	هزینه تأخیر سرویس مشترک s_j
h_j	هزینه تأخیر شبکه از فراهم‌کننده خدمات فیزیکی به مشترک s_j
o_j	هزینه تأخیر صف در سرورها

مجموعه بازیکنان در واقع همان تصمیم‌گیرنده‌ها در سناریوی مورد نظر می‌باشند. راهبردها، گزینه‌های موجود در برابر هر بازیکن به‌عنوان تصمیم اتخاذ شده است که بسته به شرایط موجود می‌تواند از بین آن‌ها، بهترین را اختیار کند. در نهایت مجموعه ترجیحات، نمایانگر ارزیابی بازیکن از شرایط بازی در مدل مورد نظر است. در اکثر روش‌های مبتنی بر نظریه بازی، ترجیحات به کمک تابع بهره‌وری^۱ به صورت عددی بیان می‌شود. واضح است که نمایش عددی نسبت به یک رابطه مفهومی، دید بهتری نسبت به مسئله ایجاد می‌کند.

۳-۲- راهکار پیشنهادی

در محاسبات مه، چندین دستگاه محاسباتی کم‌مصرف، معمولاً به‌عنوان گره‌های مه (FN) در نظر گرفته شده که در لبه شبکه‌ها برای بارگیری سرویس‌های محاسبه داده از ابر مستقر شده‌اند. FNها عموماً بسیار نزدیک به سرویس‌گیرنده‌ها (DSSها) مستقر می‌شوند.

از آنجاکه تعداد زیادی از FNها و منابع محاسباتی آن‌ها برای DSSها نامرئی هستند، DSSها فقط می‌توانند با سرویس‌دهنده (DSO) تماس بگیرند و خدمات داده را خریداری کنند و نمی‌توانند به صورت مستقیم از FNها درخواستی داشته باشند؛ بنابراین، یک شبکه مجازی بین DSO و DSS وجود دارد. در هنگام دریافت درخواست خدمات از کلیه DSSها، هر DSO قادر به جمع‌آوری منابع محاسباتی از FNها و ارائه خدمات داده مجازی برای DSSها است. بر اساس نیاز شبکه، هر DSO قادر است مقدار متفاوتی از منابع محاسباتی را از FNهای مختلف به DSSهای مختلف اختصاص دهد؛ بنابراین، منبع محاسبات می‌تواند به‌طور مؤثر توسط DSSهای مجاور مورد استفاده قرار گیرد. شکل (۱) اجزاء مذکور را در قالب معماری محاسبات مه نشان می‌دهد.



شکل (۱): اجزاء معماری محاسبات مه [۱]

^۱ Utility function

در صورتی که DSS_i ، DSO_j را انتخاب کند یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود. $\alpha_i \lambda_i$ نشان دهنده درآمد به دست آمده از کارهای ارسال شده توسط DSS_i با نرخ ارسال λ_i می باشد. $q_j r_i$ کل هزینه استفاده DSS_i از DSO_j است. β_j نشان دهنده ضریب تناسب برای میزان تأثیر گذاری هزینه استفاده DSS_i از DSO_j می باشد. t نشان دهنده هزینه تأخیر می باشد که برای DSS_i توسط DSO_j محاسبه می شود. γ_j ضریب تناسب برای میزان تأثیر گذاری هزینه تأخیر می باشد.

اگر DSS ها خدمات خود را از FN های مربوط به DSO دریافت کنند، سود به دست آمده به عنوان درآمد به دست آمده برای هر DSO از DSS ها منهای هزینه پرداختی FN ها و انرژی مصرفی محاسبه می شود و بنابراین، معادله بهره‌وری اپراتور خدمات داده‌ای در رابطه **Error! Reference source not found.** محاسبه می شود.

$$w_i^d = \sum_{j=1}^N \tau_{ij}(q_j r_i) - \sum_{k=1}^K p_k q_{ik}^{fd} - e_i q_i^0 \quad (2)$$

در رابطه **Error! Reference source not found.**، $\sum_{i=1}^M \tau_{ij}(q_j r_i)$ نشان دهنده هزینه دریافتی DSO_j از DSS_i و $\sum_{k=1}^K p_k q_{ik}^{fd}$ هزینه پرداختی تمامی FN هایی می باشد که DSO_j را انتخاب کرده‌اند. $e_i q_i^0$ هزینه انرژی DSO_j است. در رابطه **Error! Reference source not found.** سود با تأثیر گذاری FN ها محاسبه می شود در واقع رابطه (۱) درآمد DSO را بر اساس استفاده DSS از DSO به صورت مستقیم محاسبه نموده است و رابطه **Error! Reference source not found.** درآمد DSO را بر اساس استفاده DSS ها از FN ها محاسبه می کند. مقدار r_i بر اساس رابطه **Error! Reference source not found.** محاسبه می شود.

$$r_i = \frac{\gamma_j}{\beta_j} \left(\frac{\mu t_{th} - \lambda_i}{\lambda_i} \right)^2 \quad (3)$$

در رابطه **Error! Reference source not found.**، μ نشان دهنده نرخ انتقال داده از CRB ها به عنوان واحد پردازش FN ها به DSO می باشد.

$$w_k^f = \sum_{k=1}^K \eta_{ki}^f (p_k - c_{kj}) q_{kj}^{fs} \quad (4)$$

در رابطه **Error! Reference source not found.**، $\sum_{i=1}^M \eta_{ki}^f p_k q_{kj}^{fs}$ نشان دهنده میزان کاهش هزینه DSO_k به ازاء استفاده از FN_f است. $\sum_{i=1}^M \eta_{ki}^f c_{kj} q_{kj}^{fs}$ نشان دهنده هزینه انتقال داده از DSS_j به گره FN_k می باشد. در واقع رابطه **Error! Reference source not found.** سود نهایی FN ها را محاسبه می کند.

ادامه جدول (۳): پارامترهای روش پیشنهادی	
q_j	تعداد CRB های خریداری شده توسط مشترک s_j
l_{kj}	فاصله بین گره f_k تا مشترک s_j
w_j^s	تابع بهره‌وری مشترک s_j
w_i^d	تابع بهره‌وری اپراتور خدمات داده‌ای d_i
w_k^f	تابع بهره‌وری گره f_k
τ_{ij}	متغیر بولینی است که تعیین می کند آیا اپراتور خدمات داده‌ای d_i به مشترک s_j سرویس بدهد یا خیر.
$\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$	عامل‌های وزن در تابع بهره‌وری از مشترک s_j
t_{th}	حداکثر حد تأخیر سرویس برای مشترک s_j
c_{kj}	هزینه انتقال برای هر واحد CRB از گره f_k به مشترک s_j
e_i	هزینه انرژی در دیتاسترهای دور دست برای اپراتور خدمات داده‌ای d_i
η_{ki}^f	اولویت نرمال از گره f_k به اپراتور خدمات داده‌ای d_i را تعیین می کند.
p_k	اجاره واحد CRB تعیین شده توسط گره f_k
r_{th}	هزینه مجموع تأخیر
q_{kj}^{fs}	تعداد CRB های اختصاص داده شده از گره f_k به مشترک s_j
q_{ik}^{fd}	تعداد CRB های اختصاص داده شده از گره f_k به اپراتور خدمات داده‌ای d_i
L_i^{df}	لیست ترجیحی از اپراتور خدمات داده‌ای d_i بر روی همه گره‌های مه
L_j^{sf}	لیست ترجیحی از مشترک s_j بر روی همه گره‌های مه
L_k^{fs}	لیست ترجیحی از گره f_k بر روی همه مشترکین

۳-۴- فرمول بندی مسئله و بررسی روابط ریاضی

در این بخش به ارائه روابط ریاضی پرداخته خواهد. در رابطه (۱) (۱) میزان درآمد به دست آمده DSO بر اساس DSS های انتخابی محاسبه می شود که خدمات خود را از DSO دریافت کرده‌اند این مقدار در رابطه **Error! Reference source not found.** نمایش داده شده است. در واقع در این رابطه میزان درآمد زمانی که DSS ها مستقیم با DSO ها در ارتباط هستند و در واقع میزان سود را زمانی که DSS از DSO به صورت مستقیم استفاده می کند را محاسبه می کند.

$$w_j^s = \sum_{i=1}^M \tau_{ij} (\alpha_i \lambda_i - \beta_j q_j r_i - \gamma_j t_j) \quad (1)$$

بر اساس رابطه (۱)، M تعداد DSS ها می باشد و τ_{ij}

پاسخ را به مجموعه راهبردهای رقبای خود می‌دهد. به این منظور از معادله (۲) استفاده می‌شود:

$$B_i(a_{-i}) = \{a_i \in A_i: u_i(a_i, a_{-i}) \geq u_i(a'_i, a_{-i}), \forall a'_i \in A_i\} \quad (2)$$

بر اساس معادله (۲)، a_{-i} راهبرد بازیکن رقیب a_i را هبرد بازیکن a'_i نام، a_i راهبرد دیگر بازیکن a_i یا همان راهبرد بازیکن نام، A_i مجموعه راهبرد بازیکن a_i و $B_i(a_{-i})$ بهترین پاسخ بازیکن a_i نام برای مجموعه همه‌ی راهبردها می‌باشد که با استفاده از مخلوطی از راهبردهای تمامی بازیکنان که تا به حال انتخاب شده است ایجاد می‌شود. در این پژوهش نقطه تعادل نش با استفاده از ترکیب راهبردهای رقبا و ایجاد راهبردهای جدید ایجاد می‌شود. برای این منظور ماتریسی تصادفی از مقادیر صفر و یک ایجاد می‌شود و دو راهبرد به تصادف انتخاب شده و راهبرد جدید برای بازیکن ایجاد می‌کنند.

۳-۶- الگوریتم مزایده

الگوریتم مزایده بر اساس بهترین مقدار تابع بهینه می‌باشد بر اساس این الگوریتم زمانی که یک تخصیص منبع جدید برای سیستم انتخاب شد توابع مربوط به FN، DSS و DSO محاسبه می‌شود اگر مقدار توابع به دست آمده بر اساس این سیستم بهینه بهتر از بقیه راهبردها باشد به عنوان راهبرد غالب باعث حذف تمامی راهبردهای قبلی می‌شود که این باعث می‌شود سیستم از حافظه کمتر و بار محاسباتی کمتری برخوردار باشد و در هر بار پس از انتخاب لیست راهبردها توسط الگوریتم نقطه تعادل نش فقط راهبرد غالب در لیست باقی بماند که باعث بهینه‌گی سیستم می‌شود و می‌توان اطمینان داشت که بهترین تخصیص منبع روی خواهد داد.

۳-۷- تشریح الگوریتم ترکیبی پیشنهادی

روال بازی به این صورت است که ابتدا بازیکن اول یک راهبرد تصادفی تولید کرده و بر اساس راهبرد تولیدی منبع به آن تخصیص داده می‌شود و بهره‌وری خود را دریافت می‌کند. به صورت پیش فرض بهره‌وری بازیکن اول به عنوان بهترین بهره‌وری در نظر گرفته می‌شود. همچنین سایر بازیکنان نیز با یک راهبرد تصادفی تخصیص منبع را انجام داده و بهره‌وری متناسب خود را کسب می‌نمایند. سپس بهره‌وری بازیکن اول با بازیکن دوم مقایسه می‌شود. در صورتی که بهره‌وری بازیکن اول از بازیکن دوم بهتر باشد، راهبرد بازیکن اول را با راهبرد بازیکن دوم ترکیب می‌کنیم تا تخصیص منبع بهتری صورت گیرد و بهره‌وری بازیکن دوم نیز بهبود یابد. سپس برای سایر بازیکنان این روال ادامه می‌یابد و بهره‌وری سایر بازیکنان نیز بهبود می‌یابد، سرانجام

بنابراین روش پیشنهادی مطرح شده در این پژوهش دارای سه تابع بهره‌وری به نام‌های w_i^f ، w_i^d و w_i^k می‌باشد که به ترتیب بهره‌وری مشترکین، بهره‌وری اپراتورهای خدمات داده‌ای و بهره‌وری گره‌های مه را محاسبه می‌کنند. در واقع باید هر سه تابع بهره‌وری (w_i^f ، w_i^d و w_i^k) بیشترین مقدار را داشته باشند تا DSO به بیشترین درآمد دست پیدا کند و DSS نیز بتواند بهترین خدمات را از DSO انتخابی خود دریافت کند و تخصیص منبع بهینه‌تری در گره‌های مه صورت گیرد.

۳-۵- الگوریتم بازی غیر همکارانه برای تخصیص منابع

این قسمت اساسی‌ترین مفهوم بازی منطقی یعنی همان راهبردهای غالب و حذف راهبردهای مغلوب می‌باشد که برای بازی غیر همکارانه مورد نظر می‌باشد، در این مقاله راهبردهای غالب نشان‌دهنده اختصاص بهینه DSS، FN و DSOها می‌باشد. راهبردهای مغلوب نشان‌دهنده راهبردهایی می‌باشد که کمترین مقدار بهره‌وری‌ها را بر اساس اختصاص به دست آورده‌اند. هر راهبرد در این پژوهش به شکل جدول (۴) می‌باشد.

جدول (۴): یک نمونه راهبرد شامل هفت DSO، نه FN و هشت DSS

DSO1	DSO2	DSO3	DSO4	DSO5	DSO6	DSO7
FN1, FN3	FN2	FN8, FN1	FN2, FN9	FN7, FN6	FN2, FN4	FN3
DSS1	DSS3, DSS6	DSS2	DSS4	DSS7	DSS5	DSS8

بر اساس جدول (۴) نمونه‌ای از یک راهبرد بر اساس هفت DSO و نه FN و هشت DSS نمایش داده شده است زمانی که یک DSS یک DSO را انتخاب می‌کند می‌تواند خدمات خود را از FNهای آن DSO و یا از خود DSO دریافت کند.

هر بازی مانند هر مسئله دیگری در بهینه‌سازی شامل یک فضای کاری است در این پژوهش ابعاد بازی به اندازه تعداد DSS، FN و DSO می‌باشد و نقطه تعادل نش که هدف اصلی بهینه‌سازی از طریق تئوری بازی است بر اساس تعداد DSS، FN و DSO محاسبه می‌شود؛ بنابراین هر راهبرد انتخابی ترکیبی از اختصاص DSSها به DSOها و FNها به DSOها می‌باشد که به صورت یک بازی غیر مشارکتی نمایش داده شده است و هر بازیکن بر حسب نتیجه‌ای که می‌گیرد راهبرد خود را بر حسب نقطه تعادل نش بهبود می‌دهد، در واقع پاسخ‌های بهینه‌تری برای مسئله مطرح شده می‌یابد.

نقطه تعادل نش در واقع پروفایلی از راهبردها می‌باشد که در آن هیچ بازیکنی نمی‌تواند میزان بهره‌وری‌اش را با تغییر انفرادی راهبرداش، افزایش دهد. بیان دیگری که از نقطه تعادل نش می‌توان ذکر کرد، آن است که در چنین نقطه‌ای هر کاربر بهترین

محاسبات مه می‌باشد که توسط توابعی این محاسبات صورت می‌گیرد. بهره‌وری حاصل درآمد منهای هزینه برای مشترکین گره‌های مه هست و برای اپراتورهای خدمات داده‌ای بهره‌وری عبارت است از درآمد منهای هزینه منهای انرژی مصرفی. بهره‌وری مشترکین در رابطه (۱)، بهره‌وری اپراتور خدمات داده‌ای در رابطه **Error! Reference source not found.** و بهره‌وری گره‌های مه در رابطه **Error! Reference source not found.** آورده شده است.

با توجه به ماهیت الگوریتم‌های استفاده‌شده یعنی حراج و تعادل نش در حقیقت تخصیص منابع در قالب اجاره منبع صورت می‌گیرد. در این الگوریتم ترکیبی منابع در گره‌های مه و اپراتورهای خدمات داده‌ای به صورت بلوک کنترلی منابع تخصیص داده می‌شود که با توجه به فاصله مشترک تا منبع و تعداد بلوک‌های کنترلی منابع درخواست شده، هزینه متفاوت می‌باشد. در مقایسه‌ی اول که بر اساس عملکرد گره‌های مه صورت گرفته است با توجه به معماری محاسبات مه مشترکین سرویس خود را از گره‌های مه یا اپراتور خدمات داده‌ای دریافت می‌کنند. در صورتی که تخصیص منابع توسط گره‌های مه صورت گیرد، یک هزینه توسط مشترکین به گره‌های مه پرداخت شده و گره‌های مه نیز پس از تأمین منبع با پرداخت هزینه‌ای به اپراتور خدمات داده‌ای نتایج را به مشترک‌ها انتقال می‌دهند.

با توجه به اینکه گره‌های مه در مجاورت مشترکین قرار دارند تأخیر زمانی و هزینه انرژی مصرفی را به مشترکین تحمیل نمی‌کنند و با هزینه‌ای کمتر و زمان پاسخ‌دهی سریع‌تر خدمات را ارائه می‌دهند. اولین مقایسه بر اساس تغییرات DSS صورت گرفته است. در جدول (۶) بهره‌وری گره مه در روش پیشنهادی و بازی استکلبرگ مقایسه شده است. داده‌های جدول (۶) مقادیر عددی نمودارهای شکل (۲) و شکل (۳) را نشان می‌دهند.

با تحلیل نمودارهای شکل (۲)، شکل (۳) و جدول (۶) به ازای $FN=30$ و $DSS=[60..240]$ می‌توان به‌خوبی مشاهده نمود که بهره‌وری گره مه در روش پیشنهادی بیشتر از بهره‌وری گره مه در مقاله [۱] با روش استکلبرگ است.

جدول (۶): مقایسه‌ی بهره‌وری گره مه در روش پیشنهادی و روش استکلبرگ

بازی به نقطه تعادل نش می‌رسد. الگوریتم مزایده نقطه تعادل نش را که شامل بهترین راهبرد با بیشترین بهره‌وری است انتخاب کرده و سایر راهبردهای مغلوب را حذف می‌کند. در تکرار بازی مجدداً برای بازیکنان راهبرد تصادفی تولید می‌شود و با بهترین راهبرد موجود ترکیب شده و تخصیص منبع بهتری صورت می‌گیرد و هرچه بازی ادامه پیدا می‌کند رفتار بازیکنان بهتر شده و تخصیص منبع بهتری صورت می‌گیرد و هم‌چنین بهره‌وری افزایش می‌یابد. به دلیل استفاده از الگوریتم مزایده و سیاست حذف راهبردهای مغلوب بازی در بهینه محلی گیر نخواهد کرد.

۴- ارزیابی روش پیشنهادی

در این بخش پس از پیاده‌سازی روش پیشنهادی با توجه به ماهیت الگوریتم ترکیبی مزایده و تعادل نش پس از صدبار تکرار بازی، عملکرد آن با روش‌های شناخته‌شده در این حوزه مقایسه شده است.

داده‌های مورد ارزیابی در این پژوهش بر اساس جدول (۵) می‌باشد که به‌عنوان پارامترهای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است.

جدول (۵): مقداردهی اولیه‌ی پارامترهای شبیه‌سازی در این پژوهش

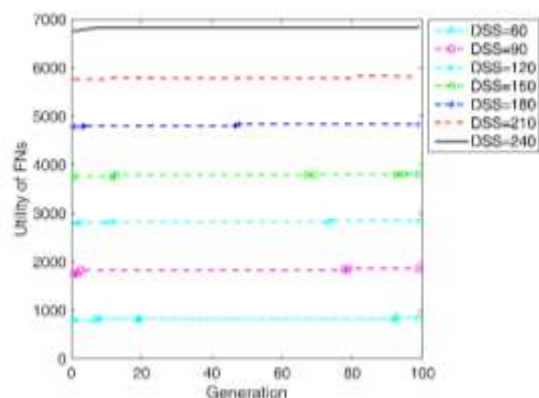
پارامتر	مقدار
DSS count	60,90,120,160,180,210,240
FN count	20,25,30
DSO count	5,10,15,20
CRB count	1~99
Network delay for DSS(h)	0~60
λ	1,1.5,2,2.5,3,3.5,4,4.5
μ	0,0.5,1,1.5,2,2.5,3,3.5,4,4.5,5
α	50
β	0.01
γ	0.001
t_{th}	40,50,60,70,80,90,100

برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در این پژوهش از روش بازی برای مقایسه استفاده شده است. شرایط مقایسه شامل مقادیر اولیه‌ی متغیرها، فرمول‌ها و معماری استفاده‌شده در روش بازی استکلبرگ و روش پیشنهادی یکسان است. لیست متغیرها در جدول (۲) و مقادیر اولیه‌ی متغیرهایی که باید مقداردهی شوند در جدول (۵) به‌طور کامل آورده شده است. تنها تفاوت در الگوریتم‌های استفاده‌شده می‌باشد.

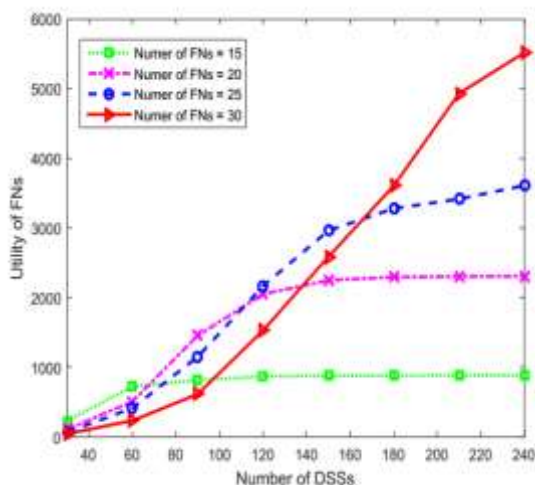
بهره‌وری نشان‌دهنده‌ی عملکرد و کارایی اجزاء معماری

¹ CRB

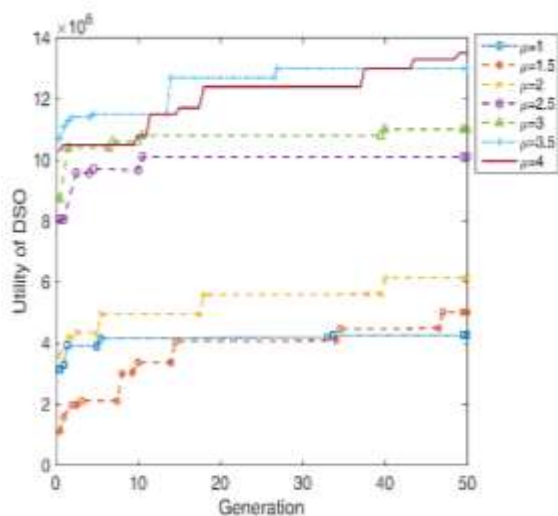
$\mu=2/5$	6.4E6	1.01E+07
$\mu=3$	7.6E6	1.10E+07
$\mu=3/5$	8.9E6	1.30E+07
$\mu=4$	1E7	1.35E+07



شکل (۲): بهره‌وری گره مه در روش پیشنهادی



شکل (۳): بهره‌وری گره مه با روش استکلبرگ [۱]



شکل (۴): بهره‌وری اپراتور خدمات داده در مقابل

تغییرات μ در روش پیشنهادی

تعداد مشترکین	بهره‌وری گره مه در روش استکلبرگ	بهره‌وری گره مه در روش پیشنهادی
$DSS = 60$	۸۹۸/۲۴۴	۸۵۶/۶
$DSS = 90$	۶۲۵/۸۵	۱۸۶۰/۴
$DSS = 120$	۱۵۲۷/۴۱	۲۸۵۰/۹
$DSS = 150$	۲۵۸۵/۰۳	۳۸۱۴/۵
$DSS = 180$	۳۶۰۵/۴۴	۴۸۳۱/۷
$DSS = 210$	۴۹۲۵/۱۷	۵۸۲۲/۲
$DSS = 240$	۵۵۱۰/۲	۶۸۵۲/۸

در صورتی که تخصیص منبع توسط اپراتور خدمات داده‌ای صورت گیرد علاوه بر هزینه انتقال و تأخیر زمانی هزینه انرژی مصرفی نیز مدنظر قرار می‌گیرد. اپراتور خدمات داده‌ای یک هزینه را از مشترک دریافت کرده و برای کاهش هزینه از بلوک‌های کنترلی منابع گره‌های مه استفاده می‌کند بنابراین هزینه‌ای را بابت اجاره بلوک‌های کنترلی منابع به گره‌های مه پرداخت کرده و هزینه‌ای نیز بابت مصرف انرژی در سرورهای حجیم متقبل می‌شود. طبق رابطه **Error! Reference source not found.** بهره‌وری برابر با درآمد منهای هزینه منهای انرژی مصرفی می‌باشد.

مقایسه‌ی دوم بر اساس بهره‌وری اپراتور خدمات داده‌ای به ازای تغییرات $\mu = [1..4]$ و $DSS=240$ صورت گرفته است. در الگوریتم‌های استفاده شده جهت سرویس دهی اپراتور خدمات داده‌ای یک مقدار به‌عنوان آستانه زمانی (t_{th}) تعریف شده است. چنانچه زمان پاسخگویی بیشتر از مقدار آستانه باشد به معنی ارتباط ناموفق بوده، تخصیص منبعی صورت نگرفته و هزینه‌ای پرداخت نخواهد شد. در جدول (۷) بهره‌وری اپراتور خدمات داده‌ای در روش پیشنهادی و بازی استکلبرگ مقایسه شده است. داده‌های جدول (۷) مقادیر عددی نمودارهای شکل (۴) و شکل (۵) را نشان می‌دهند. تحلیل نمودارهای شکل (۴)، شکل (۵) و جدول (۷) نشان‌دهنده برتری بهره‌وری اپراتور خدمات داده در الگوریتم پیشنهادی می‌باشد. بر اساس این نمودارها مقدار μ به‌عنوان نرخ ارسال CRBها در نظر گرفته شده است.

جدول (۷): مقایسه‌ی بهره‌وری اپراتور خدمات داده در روش پیشنهادی و روش استکلبرگ

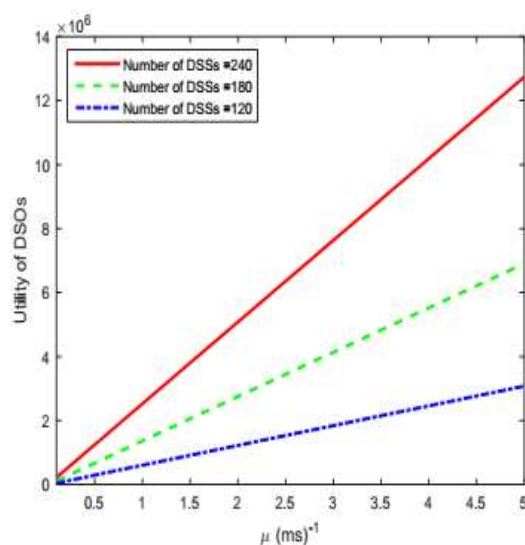
نرخ سرویس CRBها	بهره‌وری اپراتور خدمات داده در روش استکلبرگ	بهره‌وری اپراتور خدمات داده در روش پیشنهادی
$\mu=1$	2.5E6	4.26E+06
$\mu=1/5$	3.8E6	5.02E+06
$\mu=2$	5.1E6	6.14E+06

مشترکین، تخصیص بهینه منابع به طور همزمان در گره‌های مه و کاهش قابل توجه ترافیک هسته شبکه است.

مباحث امنیتی مربوط به گره‌های مه در این مطالعه مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین، یکی از کارهای آینده، مبحث بهبود امنیت در رایانش مه می‌باشد.

۶- مراجع

- [1] 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 Journal*, vol. 4, no. 5, pp. 1204-1215, 2017.
- [2] H. Zhang, Y. Xiao, S. Bu, D. Niyato, R. Yu, and Z. Han, "Fog computing in multi-tier data center networks: A hierarchical game approach," in *2016 IEEE international conference on communications (ICC)*, 2016: IEEE, pp. 1-6.
- [3] Y. Cao, S. Chen, P. Hou, and D. Brown, "FAST: A fog computing assisted distributed analytics system to monitor fall for stroke mitigation," in *2015 IEEE international conference on networking, architecture and storage (NAS)*, 2015: IEEE, pp. 2-11.
- [4] V. Stantchev, A. Barnawi, S. Ghulam, J. Schubert, and G. Tamm, "Smart items, fog and cloud computing as enablers of servitization in healthcare," *Sensors & Transducers*, vol. 185, no. 2, pp. 121-128, 2014.
- [5] J. K. Zao et al., "Augmented brain computer interaction based on fog computing and linked data," in *2014 International conference on intelligent environments*, 2014: IEEE, pp. 374-377.
- [6] J. Zhu, D. S. Chan, M. S. Prabhu, P. Natarajan, H. Hu, and F. Bonomi, "Improving web sites performance using edge servers in fog computing architecture," in *2013 IEEE Seventh International Symposium on Service-Oriented System Engineering*, 2013: IEEE, pp. 320-323.
- [7] B. P. Rao, P. Saluia, N. Sharma, A. Mittal, and S. V. Sharma, "Cloud computing for Internet of Things & sensing based applications," in *2012 Sixth International Conference on Sensing Technology (ICST)*, 2012: IEEE, pp. 374-380.
- [8] C. C. Byers and P. Wetterwald, "Fog computing distributing data and intelligence for resiliency and scale necessary for iot: The internet of things (ubiquity symposium)," *Ubiquity*, vol. 2015, no. November, pp. 1-12, 2015.
- [9] S. Agarwal, S. Yadav, and A. K. Yadav, "An architecture for elastic resource allocation in fog computing," *Int. J. Comput. Sci. Commun*, vol. 6, no. 2, pp. 201-207, 2015.
- [10] M. Aazam and E.-N. Huh, "Dynamic resource



شکل (۵): بهره‌وری اپراتورهای خدمات داده در

مقابل تغییرات μ در روش استکلبرگ [۱]

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک الگوریتم بازی ترکیبی مبتنی بر تئوری تعادل نش و حراج برای تخصیص بهینه منابع پیشنهاد شده است. ابتدا تخصیص منابع با ایجاد جفت FN-DSO، DSS-FN و DSO-DSS انجام می‌شود. سپس کارایی توابع مربوط به هر FN، DSS و DSO محاسبه می‌شود. اگر کارایی توابع به دست آمده از سایر راهبردها بهینه و بهتر باشد، به عنوان راهبرد غالب انتخاب می‌شود و تمام راهبردهای قبلی را حذف می‌کند. این راهبرد غالب منجر به سیستمی با حافظه کمتر و بار محاسباتی کمتر می‌شود. هر بار که بازی تکرار می‌شود، پس از اجرای الگوریتم نقطه تعادل نش، تنها راهبرد غالب در لیست باقی می‌ماند. راهبرد غالب سیستم را بهینه می‌کند و از بهترین تخصیص منابع اطمینان حاصل می‌کند. مقایسه ما بر اساس دو شاخص بهره‌وری اپراتور خدمات داده و بهره‌وری گره‌های مه صورت گرفته است. در مقایسه‌ی شاخص بهره‌وری گره‌های مه در سناریو با تعداد ۲۴۰ مشترک و ۳۰ عدد گره مه، بهره‌وری روش پیشنهادی ۶۸۵۲/۸ می‌باشد اما در روش استکلبرگ با شرایط یکسان بهره‌وری ۵۵۱۰/۲ است. در مقایسه‌ی شاخص بهره‌وری اپراتور خدمات داده در سناریو با نرخ سرویس بلوک کنترلی منابع برابر ۴ و تعداد ۲۴۰ مشترک بهره‌وری روش پیشنهادی 1.35E+07 می‌باشد اما در روش استکلبرگ با شرایط یکسان بهره‌وری 1E+7 است؛ بنابراین هر دو مقایسه نشان از برتری روش پیشنهادی دارد.

یافته‌های اصلی این مطالعه شامل تخصیص عادلانه منابع به

- [21] A. Mebrek and A. Yassine, "Intelligent Resource Allocation and Task Offloading Model for IoT Applications in Fog Networks: A Game-Theoretic Approach," *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 2021.
- [22] D. M. Khudhur, T. A. Yahiya, and P. Kirci, "Applying Game Theory Concept to Improve Resource Allocation in Mobile Edge Computing," in *International Conference on Mobile Web and Intelligent Information Systems*, 2021: Springer, pp. 108-118.
- provisioning through fog micro datacenter," in 2015 IEEE international conference on pervasive computing and communication workshops (PerCom workshops), 2015: IEEE, pp. 105-110.
- [11] A. Munir, P. Kansakar, and S. U. Khan, "IFCIoT: Integrated Fog Cloud IoT: A novel architectural paradigm for the future Internet of Things," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 6, no. 3, pp. 74-82, 2017.
- [12] A. A. Alsaffar, H. P. Pham, C.-S. Hong, E.-N. Huh, and M. Aazam, "An architecture of IoT service delegation and resource allocation based on collaboration between fog and cloud computing," *Mobile Information Systems*, vol. 2016, 2016.
- [13] A. Shahidinejad, "A Mutual Authentication Protocol for IoT Users in Cloud Environment," *Electronic and Cyber Defense*, 2021. (In Persian)
- [14] S. K. Roy and A. Bhaumik, "Intelligent water management: a triangular type-2 intuitionistic fuzzy matrix games approach," *Water resources management*, vol. 32, no. 3, pp. 949-968, 2018.
- [15] A. Bhaumik, S. K. Roy, and D.-F. Li, "Analysis of triangular intuitionistic fuzzy matrix games using robust ranking," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 33, no. 1, pp. 327-336, 2017.
- [16] A. Bhaumik, S. K. Roy, and G. W. Weber, "Hesitant interval-valued intuitionistic fuzzy-linguistic term set approach in Prisoners' dilemma game theory using TOPSIS: a case study on Human-trafficking," *Central European Journal of Operations Research*, vol. 28, no. 2, pp. 797-816, 2020.
- [17] A. Bhaumik, S. K. Roy, and D.-F. Li, " (α, β, γ) -cut set based ranking approach to solving bi-matrix games in neutrosophic environment," *Soft Computing*, vol. 25, no. 4, pp. 2729-2739, 2021.
- [18] A. Bhaumik and S. K. Roy, "Intuitionistic interval-valued hesitant fuzzy matrix games with a new aggregation operator for solving management problem," *Granular Computing*, vol. 6, no. 2, pp. 359-375, 2021.
- [19] A. Bhaumik, S. K. Roy, and G. W. Weber, "Multi-objective linguistic-neutrosophic matrix game and its applications to tourism management," *Journal of Dynamics & Games*, vol. 8, no. 2, p. 101, 2021.
- [20] E.-S. Ammar, M. Brikaa, and E. Abdel-Rehim, "A study on two-person zero-sum rough interval continuous differential games," *OPSEARCH*, vol. 56, no. 3, pp. 689-716, 2019.