Journal of Electronical & Cyber Defence
Vol. 9, No. 4, 2022, Serial No. 36

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

H. Mohammady Talvar[1], H. Haj Seyyed Javadi[2], H. R. Navidi Ghaziani[3*], A. Rezakhani[4]

*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 μ=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

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

نشریه علمی "پدافند الکترونیکی و سایبری"
سال نهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۱۵۸- ۱۴۷

علمی– پژوهشی

بهبود تخصیص منابع اینترنت اشیاء 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–استادیار،گروه کامپیوتر،دانشگاه آیت الله بروجردی،بروجرد، ایران

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

چکیده

در سیستم‌های شبکه‌ای مبتنی بر اینترنت اشیاء 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 بهبودیافته است. در روش پیشنهادی، به هر بازیکن یک ماتریس اختصاص داده‌شده 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 استفاده‌شده 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 μ=4 در روش پیشنهادی 1.35E+07 بوده و در روش استکلبرگ با شرایط یکسان 1E+7 می‌باشد.

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

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توسعه سریع کاربردهای اینترنت اشیاء[۱]، تعداد دستگاه‌های متصل به شبکه اینترنت و به دنبال آن حجم داده تبادل شده بین آن‌ها به‌سرعت رشد شگرفی داشته است [۱]. حال تجزیه‌وتحلیل 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، هزینه گزاف تبادل داده و تأخیر در ارائه سرویس گریبان‌گیر 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 چالش‌برانگیزتر می‌نماید. رایانش مه‌آلود[۵] برای غلبه بر این مشکل معرفی‌شده است. یکی از معماری‌های مرسوم پیشنهادشده برای رایانش مه‌آلود یک معماری سه سطحی است. در این معماری سه سطحی مشترکین خدمات داده[۶]، 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 مه‌آلود برای تحقق بخشیدن به کاربردهای اینترنت اشیاء فراهم شود.

در این پژوهش یک شبکه محاسبات مه مخصوص که متشکل از مجموعه‌ای از اپراتورهای سرویس داده می‌باشد در نظر گرفته‌شده است که هرکدام مجموعه‌ای از گره‌های مه[۷] را کنترل می‌کنند تا خدمات داده موردنیاز 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

*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

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.
ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) © نویسندگان

ترکیب دو الگوریتم مزایده و نقطه تعادل نش ارائه‌شده 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 به‌دست‌آمده بر اساس این سیستم بهتر از بقیه راهبردها باشد به‌عنوان 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 اشیاء صورت گرفته است، اما رویکرد بهره‌گیری از رایانش مه‌آلود در تحقق اهداف اینترنت اشیاء 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 اشیاء 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 اشیاء 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[1] است.

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

۲- پیشینه تحقیق

تحقیقات متنوعی در مورد تجزیه‌وتحلیل عملکرد سیستم رایانش مه توسط محققان انجام‌گرفته است که در ادامه بخشی از آن‌ها معرفی می‌شوند:

کاو[2] و همکارانش در [۳] سامانه FAST را پیشنهاد داده‌اند که یک سیستم تحلیلی توزیع‌شده به کمک رایانش مه برای نظارت بر افتادن بیمارانی است که سکته 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 به‌منظور 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 دست‌یافته است. درعین‌حال، زمان پاسخ و مصرف انرژی نیز نزدیک به رویکردهای کارآمد موجود هستند.

استفاده‌ی دیگری از رایانش مه در مراقبت از سلامتی توسط استانچف[3] و همکارانش ارائه‌شده 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 به‌منظور 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. ازاین‌رو، رایانش مه پتانسیل این را دارد که یک بازیگر اصلی در حوزه‌ی واقعیت افزوده باشد.

زائو[4] و همکاران در [۵] یک بازی تعاملی کامپیوتری مغز افزوده مبتنی بر رایانش مه و داده‌های پیوندی ساخته‌اند. هنگامی‌که شخصی این بازی را بازی می‌کند، جریان‌های خام داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط حسگرهای EEG برای تشخیص وضعیت مغز بازیکن تولید و طبقه‌بندی می‌شوند. طبقه‌بندی وضعیت مغز جزو وظایف پردازش سیگنال با محاسبات بسیار

[1] DSOs: Data Service Operators

[2] cao
[3] stantchev
[4] zao

سنگین است، ولی در این موردنیاز است که این محاسبات سنگین به‌صورت بی‌درنگ انجام شود. سیستم ارائه‌شده هم سرورهای ابری و هم سرورهای مه را به کار می‌گیرد، ترکیبی که ممکن می‌سازد تا سیستم طبقه‌بندی وضعیت مغز را به‌صورت بی‌درنگ و مداوم در سرورهای مه انجام دهد، درحالی‌که مدل‌های طبقه‌بندی به‌طور منظم در سرورهای ابری بر اساس خوانده‌های EEG توسط حسگرها تنظیم می‌شوند.

ژو[1] و همکاران در [۶] در مورداستفاده از سرورهای لبه‌ای برای بهبود عملکرد وب‌سایت‌ها بحث کرده‌اند. کاربران از طریق گره مه به اینترنت وصل می‌شوند، ازاین‌رو هر درخواست HTTP ایجادشده 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. به‌غیراز بهینه‌سازی‌های عمومی مانند نهان[2] نمودن اجزای HTML، سازمان‌دهی مجدد ترکیب‌بندی صفحه وب، کاهش اشیاء 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 اشیاء (IoT) مفهومی است که همه اشیاء اطراف ما را به‌عنوان بخشی از اینترنت تصور می‌کند. پوشش IoT بسیار گسترده است و شامل اشیاء مختلفی مانند تلفن‌های هوشمند، تبلت، دوربین‌های دیجیتال، حس‌گرها و غیره می‌شود. هنگامی‌که 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 اشیاء 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.

همچنین در مقاله‌ای دیگر، بایرز و همکاران به بررسی لزوم وجود رایانش مه‌آلود برای ایجاد هوشمندی توزیع‌شده در اینترنت اشیاء پرداخته‌اند[۸]. این مقاله در مورد این‌که چرا به هوشمندی توزیع‌شده نیاز است بحث می‌کند، دلایل متعددی از قبیل مقیاس‌پذیری، حفظ منابع شبکه، نزدیک‌ترین حلقه کنترلی، حالت کششی، خوشه‌بندی از دلایل هوش توزیع‌شده مطرح‌شده‌اند. 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 ذکرشده جهت استفاده از رایانش مه در اینترنت اشیاء 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 اشیاء 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 کاهش‌یافته و کیفیت سرویسِ بهبودیافته ارائه دهند. بنابراین رایانش مه‌آلود در حال تبدیل به یکی از توانمندسازهای مهم برای اینترنت اشیاء 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 M۲M است که شامل رایانش مه‌آلود می‌باشد. در این مقاله به پردازش داده‌های M۲M ،کشف و مدیریت خودروهای به هم متصل به‌صورت خلاصه اشاره‌شده است. این مقاله به مبحث جدیدی نسبت به مقالات قبلی اشاره نموده است و در معماری‌های مطرح‌شده برای حوزه‌ی 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 به‌سرعت 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.

[1] zhu
[2] cache

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

اعظم و هُو در [۱۰] اشاره‌کرده‌اند که تازگی، فراگیر بودن و همه‌جا حاضر بودن سرویس‌های محاسباتی برای محققین و توسعه‌دهندگان این سرویس‌ها موردتوجه بوده است. ایشان اشاره نموده‌اند که با توجه به این‌که 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. ازاین‌رو رایانش مه‌آلود به یک چارچوب مدیریت منابع مناسب و مؤثر نیاز دارد. علاوه بر این با توجه به این‌که این رایانش با گره‌های سیار و همچنین اشیاء و ابزارهای متنوع در ارتباط با اینترنت اشیاء مواجه است، لذا یک رفتار اتصال نوسانی در آن وجود دارد. تمامی انواع خدمات مشتریان احتمال واگذاری غیرقابل‌پیش‌بینی دارند و هر شیء یا ابزار می‌تواند در هرلحظه از زمان بهره‌برداری از منابع را متوقف سازد. در روش پیشنهادی برای تخمین و مدیریت منابع این فاکتورها در نظر گرفته‌شده 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 گرفته‌شده می‌توانند 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 تجزیه‌وتحلیل 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.

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 SLA و QoS و نیز بهینه‌سازی توزیع داده‌های حجیم در رایانش مه و ابر ارائه دادند. نتایج شبیه‌سازی گزارش‌شده 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 ثبت‌نام، احراز هویت و برقراری ارتباط امن بین کاربرها و خدمات دهنده‌ها است. نتایج به‌دست‌آمده 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 موردتوجه 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 متمرکزشده‌اند.

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

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 تجزیه‌وتحلیل 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 چندمعیاره[1] 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 کرند.

مبرک و همکاران در [۲۱] یک مدل محاسباتی برای تخلیه بار برنامه‌های اینترنت اشیاء در لبه شبکه در نظر گرفته‌اند. آن‌ها رقابت را به‌عنوان یک بازی مدل کردند که در آن تصمیم‌گیری دستگاه‌های اینترنت اشیاء 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 به‌روز کنند پیشنهاد دادند. آن‌ها ثابت کردند که راه‌حل الگوریتم پیشنهادی به تعادل نش همگرا می‌شود. درنهایت 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 به‌خودی‌خود ائتلافی بین کاربران دارد و منابع را به‌طور 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.

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 به‌دست‌آورد. نظریه بازی در مطالعه طیف گسترده‌ای از موضوعات کاربرد دارد. ازجمله نحوه تعامل تصمیم گیرندگان 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 حرکت‌ها 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 به‌کارگیری 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[2] ابزاری ریاضی برای تحلیل فرآیندهایی می‌باشد که در آن تصمیم‌گیرنده‌هایی حضور دارند که در تقابل[3] با یکدیگر عمل می‌کنند. درواقع این شاخه از علم تحقیق می‌کند در چنین شرایطی که المان‌هایی 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 المان اصلی مجموعه بازیکنان، مجموعه راهبردها و مجموعه ترجیحات تشکیل می‌شود.

[1] multi-criteria matrix games

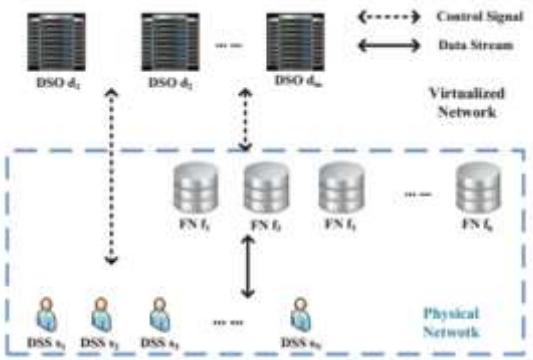
[2] Game theory
[3] interaction

مجموعه بازیکنان درواقع همان تصمیم‌گیرنده‌ها در سناریوی موردنظر می‌باشند. راهبردها، گزینه‌های موجود در برابر هر بازیکن به‌عنوان تصمیم اتخاذشده است که بسته به شرایط موجود می‌تواند از بین آن‌ها، بهترین را اختیار کند. درنهایت مجموعه ترجیحات، نمایانگر ارزیابی بازیکن از شرایط بازی در مدل موردنظر است. در اکثر روش‌های مبتنی بر نظریه بازی، ترجیحات به کمک تابع بهره‌وری[1] به‌صورت 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 گرفته‌شده که در لبه شبکه‌ها برای بارگیری سرویس‌های محاسبه داده از ابر مستقرشده‌اند. FNها عموماً بسیار نزدیک به سرویس‌گیرنده‌ها (DSSها) مستقر می‌شوند.

ازآنجاکه 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 به‌صورت 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 مورداستفاده قرار گیرد. شکل (۱) اجزاء مذکور را در قالب معماری محاسبات مه نشان می‌دهد.



شکل (۱): اجزاء معماری محاسبات مه [۱]

[1] Utility function

شبکه‌های محاسبه مه می‌تواند شامل تعداد زیادی FN باشند که توسط DSOهای مختلف در مکان‌های مختلف برای ارائه خدمات به DSSها مستقرشده‌اند. هنگامی‌که DSSها می‌توانند DSO 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. هنگامی‌که قیمت DSOها و منابع خریداری‌شده DSSها به‌دست آمد، هر DSS می‌تواند بداند که چند CRB موردنیاز 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
Y	مجموعه‌ای از DSSها
Ω	مجموعه‌ای از FNها
μ	نرخ سرویس CRBها
λ_j	نرخ ورود بار کاری برای مشترک s_j
r_i	قیمت تعیین‌شده 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

ادامه جدول (۳): پارامترهای روش پیشنهادی	
q_j	تعداد CRBهای خریداری‌شده توسط مشترک s_j
l_{kj}	فاصله بین گره مه 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 مه f_k
τ_{ij}	متغیر بولینی است که تعیین می‌کند 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 واحدCRB از گره مه f_k به مشترک s_j
e_i	هزینه انرژی در دیتاسنترهای دوردست برای اپراتور خدمات داده‌ای d_i
η_{ki}^f	اولویت نرمال از گره مه f_k به اپراتور خدمات داده‌ای d_i را تعیین می‌کند.
p_k	اجاره واحد CRB تعیین‌شده توسط گره مه f_k
r_{th}	هزینه مجموع تأخیر
q_{kj}^{fs}	تعداد CRBهای اختصاص داده‌شده از گره مه f_k به مشترک s_j
q_{ik}^{fd}	تعداد CRBهای اختصاص داده‌شده از گره مه 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 مه f_k بر روی همه مشترکین

۳-۴- فرمول‌بندی مسئله و بررسی روابط ریاضی

در این بخش به ارائه روابطِ ریاضی پرداخته خواهد. در رابطه (۱)[۱] میزان درآمد به‌دست‌آمده DSO بر اساس DSSهای انتخابی محاسبه می‌شود که خدمات خود را از DSO دریافت کرده‌اند این مقدار در رابطه **Error! Reference source not found.**[۱] نمایش داده‌شده است. درواقع در این رابطه میزان درامد زمانی که DSSها مستقیم با DSOها در ارتباط هستند و درواقع میزان سود را زمانی که DSS از DSO به‌صورت مستقیم استفاده می‌کند را محاسبه می‌کند.

$$w_j^s = \sum_{i=1}^{M} \tau_{ij}\left(\alpha_i\lambda_i - \beta_j q_j r_i - \gamma_j t_j\right) \qquad (۱)$$

بر اساس رابطه (۱)، M تعداد DSSها می‌باشد و τ_{ij} درصورتی‌که DSS_i، DSO_j را انتخاب کند یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود. $\alpha_i\lambda_i$ نشان‌دهنده درآمد به‌دست‌آمده از کارهای ارسال‌شده توسط DSS_i با نرخ ارسال λ_i می‌باشد. $q_j r_i$ کل هزینه استفاده DSS_i از DSO_j است. β_j نشان‌دهنده ضریب تناسب برای میزان تأثیرگذاری هزینه استفاده DSS_i از DSO_j می‌باشد. t نشان‌دهنده هزینه تأخیر می‌باشد که برای DSS_i توسط DSO_j محاسبه می‌شود. γ_j ضریب تناسب برای میزان تأثیرگذاری هزینه تأخیر می‌باشد.

اگر DSSها خدمات خود را از FNهای مربوط به DSO دریافت کنند، سود به‌دست‌آمده به‌عنوان درآمد به‌دست‌آمده برای هر DSO از DSSها منهای هزینه پرداختی FNها و انرژی مصرفی محاسبه می‌شود و بنابراین، معادله بهره‌وری اپراتور خدمات داده‌ای در رابطه **Error! Reference source not found.** محاسبه می‌شود.

$$w_i^d = \sum_{j=1}^{N} \tau_{ij}(q_i r_i) - \sum_{k=1}^{K} p_k q_{ik}^{fd} - e_i q_i^0 \qquad (۲)$$

در رابطه **Error! Reference source not found.**، $\sum_{i=1}^{M}\tau_{ij}(q_i r_i)$ نشان‌دهنده هزینه دریافتی DSO_j از DSS_i و $\sum_{k=1}^{K} p_k q_{ik}^{fd}$ هزینه پرداختی تمامی FNهایی می‌باشد 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 تأثیرگذاری FNها محاسبه می‌شود درواقع رابطه (۱) درآمد DSO را بر اساس استفاده DSS از DSO به‌صورت مستقیم محاسبه نموده است و رابطه **Error! Reference source not found.** درآمد DSO را بر اساس استفاده DSSها از FNها محاسبه می‌کند. مقدار r_i بر اساس رابطه **Error! Reference source not found.**[۱] محاسبه می‌شود.

$$r_i = \frac{\gamma_j}{\beta_j}\left(\frac{\mu t_{th} - \lambda_i}{\lambda_i}\right)^2 \qquad (۳)$$

در رابطه **Error! Reference source not found.**، μ نشان‌دهنده نرخ انتقال داده از CRBها به‌عنوان واحد پردازش FNها به DSOها می‌باشد.

$$w_k^f = \sum_{k=1}^{K} \eta_{ki}^f\left(p_k - c_{kj}\right)q_{kj}^{fs} \qquad (۴)$$

در رابطه **Error! Reference source not found.**[۱]، $\sum_{i=1}^{M}\eta_{ki}^f p_k q_{kj}^{fs}$ نشان‌دهنده میزان کاهش هزینه DSO_k به ازاء استفاده از FN_f است. $\sum_{i=1}^{M}\eta_{ki}^f c_{kj} q_{kj}^{fs}$ نشان‌دهنده هزینه انتقال داده از DSS_j به گره FN_k می‌باشد. درواقع رابطه **Error! Reference source not found.** سود نهایی FNها را محاسبه می‌کند.

بنابراین روش پیشنهادی مطرح‌شده در این پژوهش دارای سه تابع بهره‌وری به نام‌های w_i^s ،w_i^d و w_k^f می‌باشد که به‌ترتیب بهره‌وری مشترکین، بهره‌وری اپراتورهای خدمات داده‌ای و بهره‌وری گره‌های مه را محاسبه می‌کنند. درواقع باید هر سه تابع بهره‌وری (w_i^s ،w_i^d و w_k^f) 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 موردنظر می‌باشد، در این مقاله راهبردهای غالب نشان‌دهنده اختصاص بهینه DSS، FNو DSOها می‌باشد. راهبردهای مغلوب نشان‌دهنده راهبردهایی می‌باشد که کمترین مقدار بهره‌وری‌ها را بر اساس اختصاص به‌دست‌آورده‌اند. 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*	*DSO 4*	*DSO5*	*DSO 6*	*DSO 7*
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 داده‌شده 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 به‌اندازه 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 به‌صورت یک بازی غیر مشارکتی نمایش داده‌شده است و هر بازیکن برحسب نتیجه‌ای که می‌گیرد راهبرد خود را برحسب نقطه تعادل نش بهبود می‌دهد، درواقع پاسخ‌های بهینه‌تری برای مسئله مطرح‌شده می‌یابد.

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

$$B_i(a_{-i}) = \{a_i \in A_i : u_i(a_i, a_{-i}) \geq u_i(a_i^{'}, a_{-i}), \ \forall a_i^{'} \in A_i\} \quad (۲)$$

بر اساس معادله (۲)، a_{-i} راهبرد بازیکن رقیب iام، a_i راهبرد بازیکن iام، a_i' راهبرد دیگر بازیکن iام یا همان راهبرد بازیکن iام، A_i مجموعه راهبرد بازیکن iام و $B_i(a_{-i})$ بهترین پاسخ بازیکن iام برای مجموعه همه‌ی راهبردها می‌باشد که با استفاده از مخلوطی از راهبردهای تمامی بازیکنان که تابه‌حال انتخاب‌شده 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 به‌تصادف انتخاب‌شده 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 به‌دست‌آمده بر اساس این سیستم بهینه بهتر از بقیه راهبردها باشد به‌عنوان 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 ترکیبیِ 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. به‌صورت پیش‌فرض بهره‌وری بازیکن اول به‌عنوان 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. درصورتی‌که 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

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 ترکیب‌شده 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 گرفته‌شده 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 استفاده‌شده 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 محاسبات مه می‌باشد که توسط توابعی این محاسبات صورت می‌گیرد. بهره‌وری حاصل درآمد منهای هزینه برای مشترکینِ 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 به‌صورت بلوک کنترلیِ منابع[1] تخصیص داده می‌شود که با توجه به فاصله مشترک تا منبع و تعداد بلوک‌های کنترلیِ منابعِ 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. درصورتی‌که تخصیص منابع توسط گره‌های مه صورت گیرد، یک هزینه توسط مشترکین به گره‌های مه پرداخت‌شده 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

[1] CRB

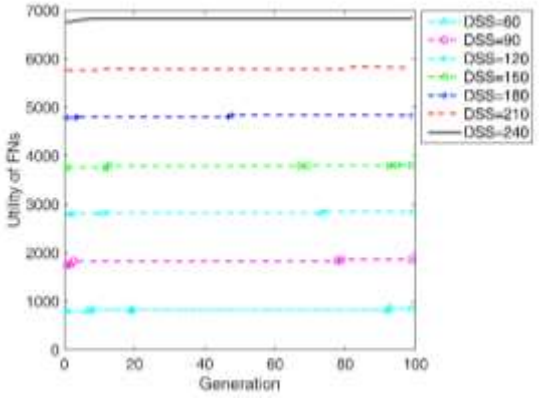
بهره‌وری گره مه در روش پیشنهادی	بهره‌وری گره مه در روش استکلبرگ	تعداد مشترکین
۸۵۶/۶	۸۹۸/۲۴۴	***DSS*** = ۶۰
۱۸۶۰/۴	۶۲۵/۸۵	***DSS*** = ۹۰
۲۸۵۰/۹	۱۵۳۷/۴۱	***DSS*** = ۱۲۰
۳۸۱۴/۵	۲۵۸۵/۰۳	***DSS*** = ۱۵۰
۴۸۳۱/۷	۳۶۰۵/۴۴	***DSS*** = ۱۸۰
۵۸۲۲/۲	۴۹۲۵/۱۷	***DSS*** = ۲۱۰
۶۸۵۲/۸	۵۵۱۰/۲	***DSS*** = ۲۴۰

درصورتی‌که 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 منابعِ 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.

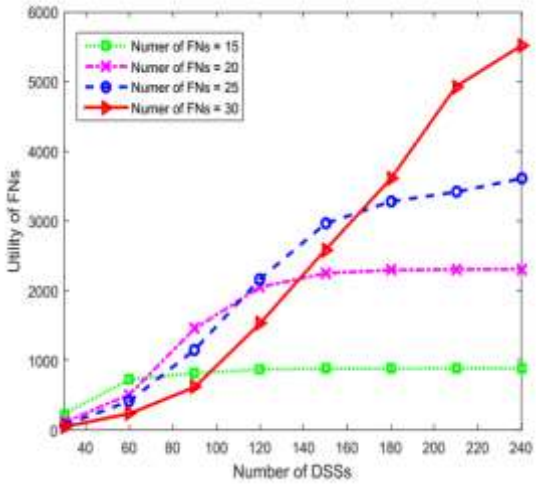
مقایسه‌ی دوم بر اساس بهره‌وری اپراتور خدمات داده‌ای به ازای تغییرات $\mu = [1..4]$ و DSS=240 صورت گرفته است. در الگوریتم‌های استفاده‌شده جهت سرویس‌دهیِ اپراتور خدمات داده‌ای یک مقدار به‌عنوان آستانه زمانی (t_{th}) تعریف‌شده است. چنانچه زمان پاسخگویی بیشتر از مقدار آستانه باشد به معنی ارتباط ناموفق بوده، 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 گرفته‌شده است.

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

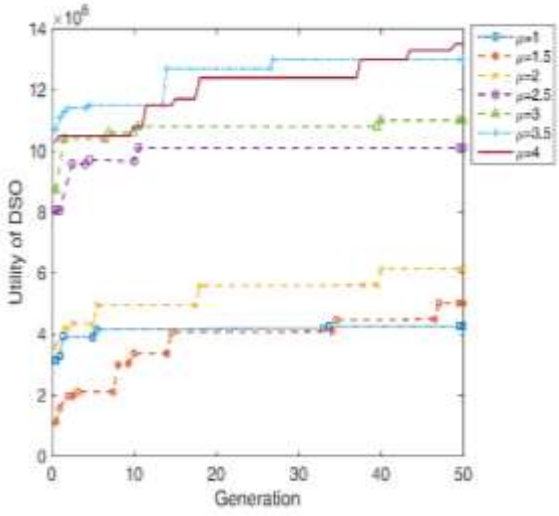
نرخ سرویس CRBها	بهره‌وری اپراتور خدمات داده در روش استکلبرگ	بهره‌وری اپراتور خدمات داده در روش پیشنهادی
μ=1	2.5E6	4.26E+06
μ=1/5	3.8E6	5.02E+06
μ=2	5.1E6	6.14E+06
μ=2/5	6.4E6	1.01E+07
μ=3	7.6E6	1.10E+07
μ=3/5	8.9E6	1.30E+07
μ=4	1E7	1.35E+07



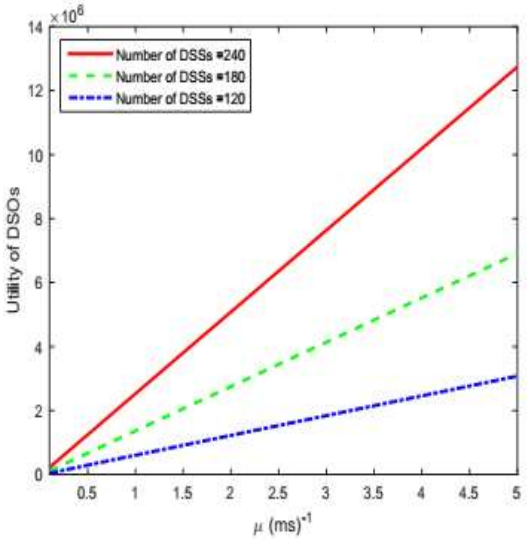
شکل (۲): بهره‌وری گره مه در روش پیشنهادی



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



شکل (۴): بهره‌وری اپراتور خدمات داده در مقابل تغییرات μ در روش پیشنهادی



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 پیشنهادشده است. ابتدا تخصیص منابع با ایجاد جفت FN-DSO، DSS-FN و DSO-DSS انجام می‌شود. سپس کارایی توابع مربوط به هر DSS، FN و DSO محاسبه می‌شود. اگر کارایی توابع به‌دست‌آمده از سایر راهبردها بهینه و بهتر باشد، به‌عنوان 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 مشترکین، تخصیص بهینه منابع به‌طور هم‌زمان در گره‌های مه و کاهش قابل‌توجه ترافیک هسته شبکه است.

مباحث امنیتی مربوط به گره‌های مه در این مطالعه موردتوجه 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

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.

[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.