

Blockchain Based Multi-Domain Resource Allocation of Network Slicing

Roozbeh Mehdikhan, Hossein Khaleghi Bizaki*, Sayed Gholam Hassan Tabatabaei

Department of Electrical and Computer Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
E-mails: roozbehmehdikhani@mut.ac.ir; *bizaki@gmail.com; tabatabaei@mut.ac.ir

Short Abstract

In the fifth generation of mobile networks (5G), managing the high traffic volume of applications and the needs of active objects in this network requires a strong, isolated, and secure platform. This is achieved by using the new concept of network slicing. DBNS (a distributed approach based on blockchain) is a method of allocating resources in terms of network slices. Unfortunately, this method faces a security issue caused by the non-observance of data transparency. A smart As a result of the allocation of resources between providers, this article utilizes the smart contract feature of the blockchain to create data transparency, as well as a secure communication platform, in the context of network slicing and among different service providers (SPs), creating a service and even reducing the delay imposed on the network. In this paper, we present a smart DBNS approach that uses smart contracts and blockchains to make interactions between SPs more secure and smart. The simulation results of the proposed method show that on average, the service delivery delay is reduced by 18% and 5%, respectively, in the two parts of the uRLLC and mMTC networks, and it promotes a new approach in the integration of these two technologies.

Keywords

The fifth generation of mobile networks (5G), Network slicing, Blockchain, Smart contract.

1- Short Introduction (4-5 lines)

One of the most important concepts presented in 5G networks is network slicing. In order to optimize the management and orchestration of shared resources among NFV nodes operating on a common physical platform, researchers have developed a variety of approaches. The security weaknesses that exist in the communication platforms between the slice providers have not been taken into account in many of the studies that have been conducted. In [8] the researchers developed a comprehensive blockchain-based network slicing platform called DBNS. At DBNS, a private blockchain (Quorum) provides the infrastructure for SP's to share and manage core network resources. In [10] researchers proposed a blockchain-based network slice architecture called NetChain. The researchers provided the slice orchestration architecture with multi-domains, increasing the fairness and privacy of the slicing users. In [11] Researchers have used blockchain structure and smart contracts to manage Service level agreements (SLAs) between customers and service providers. However, many proposals do not consider the following two issues: first, Multi-domain network security of traffic flows between SPs. And second slice resources overflow when resource allocation requests in the core network increase. The blockchain is one of the methods that can be used to solve the problems that have been discussed above.

2- Proposed Work and Methodology

The DBNS platform provides a platform for service providers to communicate with each other in a segmented network environment using the block chain structure. In this platform, service providers are connected to each other using the block chain and use this structure to hold a kind of tender process. When a service provider cannot provide service to its corresponding users due to the completion of its resource capacity, it can employ another service provider to provide services to the user by using DBNS. The main difference between smart DBNS and normal DBNS [8] is the use of smart contract in the bidding process. The proposed method uses a smart contract to conduct an auction between domains' SPs. When a SP requests a new resource, it registers the transaction request to start the bidding process. By using the smart DBNS, data transfer is transparent between nodes, which means SPs cannot monopolize the selection process. By using smart contract and block chain, we present a smart DBNS approach, based on which interactions between SPs become smart and their security increases. The simulation results of the proposed method show that on average, the service delivery delay is reduced by 18% and 7%, respectively, in the two parts of the uRLLC and mMTC services, and it promotes a new approach in the integration of these two technologies.

3- Conclusion

The smart DBNS approach has two general goals. The first objective, by using the concept of smart contract, is to try to create a kind of data transparency as a security parameter among the offers provided by service providers, in the network segmentation environment, with the aim of allocating newer and more resources for users. The second goal is to reduce the additional overhead imposed on the network by repeated encryption/decryptions. DBNS architecture based on smart contract also helped the entire network structure to automatically and transparently handle the change of service provider and compensate the lack of resources for user services. By using smart contract and selecting three different types of network components, we were able to reduce the average delay for providing service and improve the design for URLLC and MMTC network components.

4- References

- [8] Togou, Mohammed Amine, Ting Bi, Kapal Dev, Kevin McDonnell, Aleksandar Milenovic, Hitesh Tewari, and Gabriel-Miro Muntean. "DBNS: A distributed blockchain-enabled network slicing framework for 5G networks." *IEEE Communications Magazine* 58, no. 11 (2020): 90-96.
- [10] He, Guobiao, Wei Su, Shuai Gao, Ningchun Liu, and Sajal K. Das. "NetChain: A Blockchain-Enabled Privacy-Preserving Multi-Domain Network Slice Orchestration Architecture." *IEEE Transactions on Network and Service Management* 19, no. 1 (2021): 188-202.
- [11] Ssengonzi, C., Kogeda, O. P., & Olwal, T. O. (2022). A survey of deep reinforcement learning application in 5G and beyond network slicing and virtualization. *Array*, 100142.

تخصیص منابع برش‌های شبکه با استفاده از زنجیره بلوکی در شبکه‌های چندین دامنه‌ای

روزبه مهدی‌خان

کارشناس ارشد، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، تهران، ایران

حسین خالقی بیزکی

استاد، مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، تهران، ایران

سید غلام‌حسن طباطبایی

استادیار، مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، تهران، ایران

چکیده

با معرفی نسل پنجم شبکه‌های تلفن همراه (5G)، مدیریت حجم بالای ترافیک برنامه‌های کاربردی و نیازمندی‌های اشیاء فعال در این شبکه، نیازمند یک بستری قوی، ایزوله و امن است. این امر با استفاده از مفهوم جدید برش شبکه محقق می‌شود. رویکرد توزیع‌شده مبتنی بر زنجیره‌بلوکی (DBNS) روشی است که در آن می‌توان تخصیص منابع را در یک شبکه برش‌بندی شده، مدیریت نمود؛ اما متأسفانه این روش با مشکل امنیتی عدم رعایت شفافیت داده‌ای روبه‌رو است. در این مقاله، با استفاده از یکی از ویژگی‌های زنجیره‌بلوکی یعنی قرارداد هوشمند، سعی شده است تا در محیط برش شبکه و در میان ارائه‌دهندگان خدمت (SPs) مختلف، علاوه بر ایجاد یک بستر امن ارتباطی، بتوان شفافیت داده‌ای در روند تخصیص منابع میان ارائه‌دهندگان خدمت ایجاد کرده و حتی‌الامکان از تأخیر تحمیلی بر شبکه، کاست. با بهره‌گیری از قرارداد هوشمند و زنجیره‌بلوکی، رویکرد DBNS هوشمند را ارائه می‌دهیم که بر اساس آن تعاملات میان SP ها هوشمند شده و امنیت آن‌ها نیز بالا برود. نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی نشان می‌دهد که به طور متوسط در دو برش شبکه uRLLC و mMTC به ترتیب ۱۸ و ۷ درصد از تأخیر ارائه سرویس کاسته شده و رویکرد نوینی را در ادغام این دو تکنولوژی به پیش برد.

کلمات کلیدی

نسل پنجم شبکه‌های تلفن همراه (5G)، برش شبکه، زنجیره‌بلوکی، قرارداد هوشمند.

نام نویسنده مسئول: دکتر حسین خالقی بیزکی

ایمیل نویسنده مسئول: bizaki@gmail.com

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

تاریخ (های) اصلاح مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۲۲

۱- مقدمه

خانه‌ها و ... موجب شد که شبکه‌های 4G نتوانند از عهده‌ی مدیریت حجم بالای ترافیک ارتباطی این اشیاء برآیند. شبکه‌های 5G با معماری جدید و افزایش چشمگیر ظرفیت‌های ارتباطی، کمک شایانی به پیشبرد فناوری‌های سیار و مفاهیم جدیدی که در کنار این شبکه‌های معرفی شده‌اند، کرده و توانسته است به طیف گسترده‌ی نیازمندی‌های دستگاه‌های متصل به اینترنت، پاسخ‌گو باشد. در این راستا و با هدف پاسخ‌دهی به نیازهای مختلف کاربرانی که از شبکه‌های 5G بهره می‌برند، مفهوم برش شبکه^۱ توسعه داده شده است. برش شبکه با استفاده از مجازی‌سازی توابع شبکه (NFV)^۲ و شبکه‌های نرم‌افزار محور (SDN)^۳ باهدف ایجاد انواع برش‌های مختلف برای برنامه‌های متنوع و کاربردی ارائه شده است [۱،۲]. ایده اصلی برش شبکه، ایزوله کردن ترافیک برنامه‌های کاربردی مختلف و همچنین مدیریت بهتر ترافیک داده‌ای این برنامه‌ها است. همان‌طور که در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است، زیرساخت فیزیکی برای تمامی برش‌های شبکه یکسان بوده و با بهره‌گیری از مفهوم مجازی‌سازی است

پیشرفت‌های اخیر در ارتباطات بی‌سیم، باعث بهبود در انجام وظایف، جنبه‌های مالی، سلامت و کلیه کسب‌وکارها شده است. بر این اساس، می‌توان اطلاعاتی را بین نهادهای مختلف توزیع، جمع‌آوری و به اشتراک گذاشت تا ارتباطات راحت‌تری داشته باشند که قبل از شبکه‌های ارتباطی مدرن غیرعملی بود. با افزایش روزافزون گوشی‌های هوشمند و همچنین روی کار آمدن فناوری‌های جدیدی همچون اینترنت اشیاء^۱ و رایانش ابری^۲، نیاز به وجود بستری یکپارچه برای برقراری و اتصال این دستگاه‌ها به یکدیگر، بیش از پیش احساس شد. هم‌زمان با معرفی این فناوری‌ها، نسل جدیدی از شبکه‌های تلفن همراه با عنوان 5G معرفی گردید [۱،۲]. اصلی‌ترین دلیل معرفی این شبکه‌ی ارتباطی جدید، نیاز به بستری با ظرفیت‌های ارتباطی بیشتر و قوی‌تر از 4G بود. با پیدایش اینترنت اشیاء و اتصال یکپارچه تمامی ادواتی که انسان‌ها در محیط پیرامون خود با آن‌ها تعامل دارند، مانند خودروها، سیستم‌های مدیریت شهری،

^۴ Network Function Virtualization

^۵ Software Defined Network

^۱ Internet of Things

^۲ Cloud Computing

^۳ Network Slicing

۲- مروری بر مطالعات گذشته

تاکنون کارهای بسیاری بر روی تخصیص منابع در هسته شبکه انجام شده است که با در نظر گرفتن معماری جدید 5G و تکنولوژی‌های SDN و NFV و بهره‌برداری از ساختار توزیع شده زنجیره‌بلوکی انجام گرفته است. در [۱۰] محققان یک معماری برش شبکه مبتنی بر زنجیره بلوکی به نام NetChain را پیشنهاد کردند. در این معماری، یک الگوریتم اجماع برای بهبود امنیت ترافیک عبوری میان برش‌ها و ارتقای حریم خصوصی در NetChain پیشنهاد شده است. محققان این معماری را برای افزایش امنیت برش‌ها در شبکه‌های چندین دامنه‌ای ارائه کردند که حریم خصوصی کاربرانی که از خدمات برش‌ها استفاده می‌کنند را بهبود بخشیده است. آنچه در NetChain در نظر گرفته نمی‌شود، امکان اتصال ارائه‌دهندگان خدمات و تغییر منابع اصلی شبکه است. در [۱۱] محققان از ساختار بلاک چین و قراردادهای هوشمند برای مدیریت قراردادهای سطح خدمات^{۲۴} بین مشتریان و ارائه‌دهندگان خدمات استفاده کردند. یکی از بهترین و جامع‌ترین مطالعات انجام‌شده بر روی برش شبکه در [۷] انجام گرفته و یک سکوی جامع برش شبکه با بهره‌گیری از زنجیره‌بلوکی (DBNS)^{۲۵} ارائه شده است. برای مقابله با حملات کانال جانبی تحقیقات و اقداماتی انجام شده است. گروهی از پژوهش‌ها یک چارچوب احراز هویت سرویس‌گرا با کارایی بالا و ایمن، پشتیبانی از برش شبکه برای سرویس‌های اینترنت اشیا با پشتیبانی از نسل پنجم شبکه‌های تلفن همراه را ارائه دادند [۱۳] که البته تضمینی جهت مقابله صددرصدی در برابر حملات کانال جانبی ارائه نمی‌دهد. برای رفع تهدیدات موجود برای مازول مدیریت کننده برش شبکه که وظیفه مدیریت کنترل‌کننده‌های SDN را بر عهده دارد و همچنین برای اطمینان از ارتباطات ایمن برش‌های شبکه 5G، در سیستم‌های رمزنگاری عمومی مختلف، زیرساخت‌های کلید عمومی^{۲۶} و رمزنگاری بدون گواهی^{۲۷}، یک طرح رمزگذاری متقابل ناهمگن برای برش شبکه پیشنهاد شده است [۱۳،۲۳].

در عموم مطالعات انجام شده در زمینه تخصیص منابع در برش شبکه، توجه خاصی به مباحث امنیتی و به خصوصی استفاده از زنجیره بلوکی نشده است. استفاده از زنجیره بلوکی در [۱۴-۱۶] صرفاً به‌عنوان یک واسط^{۲۸} انجام گرفته و از آن در بحث‌های مالی و بستن قرارداد با مشتری استفاده شده است. این در حالی که ماهیت زنجیره‌بلوکی با توجه به مکانیسم‌های امنیتی استفاده شده در آن، امکان ایجاد بستری امن برای ارتباطات میان مؤلفه‌های موجود در شبکه را به خوبی فراهم می‌کند. ولی در عموم پژوهش‌ها از زنجیره‌بلوکی صرفاً به‌عنوان یک واسط برای ثبت تراکنش‌های مالی کاربران در زمان پرداخت هزینه‌های دریافت خدمت از برش‌های شبکه به ارائه‌دهنده استفاده شده است. در [۱۴] از زنجیره‌بلوکی اتریوم^{۲۹} به عنوان یک واسط برای عقد قرارداد مشتری و ثبت اطلاعات مالی در قالب تراکنش‌ها بر روی زنجیره‌بلوکی استفاده شده است. اطلاعات مالی با استفاده از سیستم رمز کلید عمومی/کلید خصوصی بر روی زنجیره‌بلوکی ثبت می‌شود. در [۱۵] نیز از زنجیره‌بلوکی به‌عنوان واسط برای ثبت قراردادهای میان ارائه‌دهندگان خدمت، در محیط برش شبکه استفاده شده است. معماری بر اساس ارتباط ارائه‌دهندگان خدمت در محیط برش شبکه ارائه شده است که تراکنش‌های مالی ارائه‌دهندگان خدمت، بر روی زنجیره‌ی بلوکی ثبت شده و از امنیت اطلاعاتی زنجیره‌بلوکی بدین شکل استفاده می‌شود. به طور کلی بررسی استفاده از زنجیره‌بلوکی در دو

پردازش سریع تراکنش‌ها از زنجیره بلوکی خصوصی کوآروم^{۳۱} استفاده می‌کنیم. کوآروم دفتر کلی دیجیتال و مبتنی بر اتریوم است که لایه‌ای بر بالای زنجیره بلوکی اتریوم با هدف پیاده‌سازی تراکنش‌های خصوصی و افزایش قدرت زنجیره بلوکی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های مختلف اجماع، فراهم آورده است. برخی از ویژگی‌های این زنجیره‌بلوکی به قرار زیر است [۸،۹]:

- حریم شخصی: این زنجیره بلوکی از تراکنش‌های خصوصی و قراردادهای خصوصی پشتیبانی کرده و از صورت فلکی که یک تبادل پیام رمزنگاری شده و نظیر به نظیر است، استفاده می‌کند. از این ویژگی برای انتقال داده‌های خصوصی میان گره‌های شبکه بهره برده می‌شود.
- اجازه دهی به نظیر: در این زنجیره بلوکی به گره یا نظیر اجازه استفاده از قرارداد هوشمند، در حالتی که طرفین ارتباط مجاز به پیوستن به شبکه باشند، داده می‌شود.
- بازدهی بالاتر: در مقام مقایسه با اتریوم، بازدهی بالاتری داشته و توانایی پردازش ۱۰۰ تراکنش در ثانیه را دارا است.
- الگوریتم‌های اجماع جانشین: این زنجیره بلوکی چندین الگوریتم اجماع را پشتیبانی می‌کند که برای زنجیره‌های انجمنی مناسب‌تر است.

از سویی دیگر، قراردادهای هوشمند برنامه‌های رایانه‌ای هستند که آزادانه شرایط یک توافق‌نامه را اجرا می‌کنند به گونه‌ای که قراردادهای هوشمند مبتنی بر زنجیره بلوکی، برنامه‌های همه‌منظوره‌ای هستند که شبکه‌ای از شرکت‌کنندگان یا ماینرها^{۳۲} آن‌ها را اجرا کرده و بر روی حالت آن‌ها به توافق می‌رسند [۹]. زمانی که یک قرارداد هوشمند بر روی یک زنجیره‌بلوکی آزاد مثل اتریوم اجرا شود، دیگر قابل توقف نبوده و هیچ‌کس نمی‌تواند جلوی اجرای آن را بگیرد. با استفاده قراردادهای هوشمند می‌توان برنامه‌ها و پروژه‌هایی را ساخت که بدون هیچ‌گونه واسطه و از کارافتادگی تا ابد به کار خود ادامه دهند. کوآروم نیز به دلیل توسعه بر روی زنجیره‌بلوکی اتریوم، از زبان برنامه‌نویسی سالیدیتی^{۳۳} برای قراردادهای هوشمند خود بهره می‌برد [۹].

در این مقاله تلاش بر این است تا با استفاده از معماری‌ها و بسترهای ارتباطی موجود میان ارائه‌دهندگان خدمت و کاربران در حوزه برش شبکه، اولاً بهبودی در تخصیص منابع فیزیکی میان کاربران مختلفی که از ارائه‌دهندگان خدمت متناظر خود در حال دریافت خدمات هستند، ایجاد نموده و در گام بعدی نیز با ارائه چهارچوبی امن و مبتنی بر زنجیره‌بلوکی امنیت ارتباطات میان ارائه‌دهندگان خدمت را تأمین کرده و شفافیت داده که یکی از فاکتورهای مهم امنیتی است را میان آن‌ها به ارمغان بیاوریم.

در بخش دوم به بررسی مطالعات گذشته و تحقیقات انجام شده در این حوزه پرداخته شده است. در بخش سوم به بررسی پلتفرم DBNS پرداخته و ساختار عملکردی این پلتفرم توضیح داده شده است. در بخش چهارم، جزئیات مربوط به پیاده‌سازی DBNS هوشمند طرح شده و نتایج و خروجی‌های سرویس‌های مختلف بررسی شده است. در بخش پنجم نیز ارزیابی و در بخش ششم هم نتیجه گیری ذکر شده است.

^{۲۴} Public Key Infrastructure

^{۲۷} Certificatless Cryptography

^{۲۸} Broker

^{۲۹} Ethereum

^{۳۱} Quorum

^{۳۲} Miner

^{۳۳} Solidity

^{۲۴} Service Level Agreement

^{۲۵} Distributed Blockchain-Enabled Network Slicing Framework

حوزه‌ی امنیت و در حوزه‌ی بهبود فرایندهای مرتبط با تخصیص منابع انجام شده است. در عموم پژوهش‌ها به ماهیت امن ایجاد شده در این فناوری توزیع شده توجهی نشده است. در [۱۳] که بررسی جامعی بر روی امنیت برش شبکه داشته‌اند، اشاره‌ای به فناوری زنجیره‌بلوکی و یا استفاده از قرارداد هوشمند، نشده است. البته کاربرد خاص زنجیره‌بلوکی در سیستم‌های مالی می‌تواند یکی از دلایل گسترده‌ی استفاده‌ی زیاد از این فناوری در مطالعات در اکوسیستم برش شبکه باشد، ولی ویژگی‌های امنیتی این پلتفرم نیز قابل‌انکار و چشم‌پوشی نیست. در [۱۷] پژوهشگران یک معماری با هدف اشتراک منابع میان برش‌های شبکه به نام BEAT ارائه داده‌اند. این معماری انتها به انتها^{۳۰} که مبتنی بر زنجیره‌بلوکی ارائه شده است، با استفاده از ساختار قرارداد هوشمند، منابع موجود در شبکه را میان برش‌ها توزیع می‌کند. در این پژوهش به سرریز شدن منابع برش‌ها و لزوم تغییر دامنه کاری توجهی نشده است. در [۱۸] نیز محققان با بهره‌گیری از ساختار زنجیره‌بلوکی و قرارداد هوشمند، پلتفرمی برای مدیریت توافق‌نامه‌های سطح خدمت (SLA) میان کاربران و ارائه‌دهندگان خدمت ارائه داده‌اند. در این پلتفرم از برنامه نویسی خطی صحیح (ILP)^{۳۱} برای تخصیص منابع میان کاربران استفاده شده است. در [۱۹] با استفاده از زنجیره‌بلوکی فبریک^{۳۲} یک واسط برای برش شبکه امن ارائه شده است. هدف اصلی محققین در این مقاله بررسی کاربرد معماری برش شبکه امن برای خدمات کارخانه به عنوان سرویس (FaaS)^{۳۳} است. در [۲۰] پژوهشگران یک مدل سنجش شاخص‌های کیفیت ارائه سرویس را بر اساس زنجیره‌بلوکی برای برش‌های شبکه ارائه داده‌اند. با بهره‌گیری از این مدل، شاخص‌های کیفیت ارائه سرویس هر ارائه‌دهنده خدمت مقایسه و سنجش می‌شود و برش‌ها در تخصیص بهتر منابع کمک می‌کند. در این تحقیق سرریز منابع و جانشینی ارائه دهنده خدمت برای برش‌ها و کاربران بررسی نشده است. در مراجع [۸] و [۱۵،۱۴] از زنجیره‌ی بلوکی در فاز تخصیص منابع استفاده مناسبی شده است، ولی عدم توجه به پتانسیل‌های امنیتی به خصوص در بهره‌گیری از مفهوم قرارداد هوشمند، از جمله مباحث مهمی است که کمتر به آن‌ها توجه شده است. زنجیره‌بلوکی با توجه به بستر امن ارتباطی که در محیط برش شبکه ایجاد کرده است، پتانسیل و ظرفیت توسعه‌ی بالایی به محیط بخشیده و ارائه‌دهندگان برش‌های شبکه در نسل پنجم شبکه‌های تلفن همراه این توانایی را دارند تا بر روی این بستر امن به ارائه خدمت به کاربران خود بپردازند، لذا پتانسیل و موقعیت‌های خوب تحقیقاتی در ادغام این دو مفهوم جدید دنیای تکنولوژی وجود خواهد داشت.

به طور کلی عموم تحقیقات انجام گرفته در بهره‌گیری از بستر زنجیره‌بلوکی در برش شبکه دارای ضعف‌های زیر می‌باشند:

- عدم توجه به سرریز منابع در برش‌ها و لزوم تغییر دامنه و ارائه دهنده خدمت به کاربران
- عدم بهره‌گیری از ساختار امن زنجیره‌بلوکی برای ایجاد یک شبکه‌ی امن اطلاعاتی میان دامنه‌ها
- استفاده حداقی از ویژگی‌های قرارداد هوشمند در روند تغییر دامنه‌های میان شبکه‌ای

۳- DBNS هوشمند

سکوی DBNS بستری را برای ارتباط ارائه‌دهندگان خدمت با یکدیگر در

۱. قبل از شروع فرآیند اتصال به DBNS باید ارائه‌دهندگان خدمت از یک مرجع معتبر گواهی کسب کنند تا بتوانند بر روی زنجیره‌بلوکی کارورم ثبت شوند.
۲. کاربر موردنظر از طریق برش‌شبکه موردنظر در حال دریافت سرویس از ارائه‌دهنده خدمت است.

مطابق شکل (۲) سکوی DBNS به صورت زیر عمل می‌کند: در ابتدا، پیام درخواست تخصیص منبع کاربر U_A به SP_A ارسال می‌گردد. اگر SP_A بتواند تخصیص منبع را به صورت محلی^{۳۴} پاسخ دهد، سرویس به کاربر U_A تخصیص داده می‌شود این ارتباط تا زمانی که SP_A و قطعات شبکه‌ای آن توانایی پاسخ‌گویی نیازمندی‌های کاربر U_A را داشته باشد، برقرار خواهد بود، ولی اگر پیشنهاد نتواند به صورت محلی استجابت شود، از زنجیره‌بلوکی کمک گرفته شده و درخواست تخصیص منبع در شبکه و در میان SP ها پخش می‌شود. لازم به یادآوری است که هر یک از ارائه‌دهندگان خدمت در این شبکه قبلاً بر روی زنجیره‌بلوکی ثبت شده و به شکل یکپارچه‌ای به یکدیگر متصل بوده و به اصطلاح به یکدیگر اعتماد^{۳۵} دارند. حال تا زمانی که منابع زیرساختی SP_A اجازه دهد، کاربر U_A از آن سرویس دریافت خواهد کرد؛ اما با افزایش درخواست‌ها، SP_A که ظرفیت محدودی داشته، توانایی پاسخ‌گویی و ارائه سرویس به کاربر U_A را ندارد. لذا با استفاده از زنجیره‌بلوکی که محیطی امن و توزیع‌شده‌ای میان ارائه‌دهندگان خدمت مهیا کرده است، روند تغییر ارائه‌دهنده خدمت، اعمال می‌گردد. SP_A درخواست دهنده تراکنشی را با عنوان «درخواست پیشنهادیه» (RFP)^{۳۶} را به زنجیره بلوکی اضافه کرده و کلید عمومی خود را نیز همراه تراکنش درخواست، ثبت می‌کند. سایر ارائه‌دهندگان خدمت، بسته دریافت کرده و با استفاده از کلید عمومی درخواست دهنده بسته را رمزگشایی می‌کنند و به محتویات آن پاسخ می‌دهند. تمامی پاسخ‌ها رمز شده و بر روی زنجیره‌بلوکی نوشته می‌شوند. زمانی را نیز برای ثبت پاسخ‌ها در نظر گرفته شده است که بعد از این زمان، تراکنش پاسخ از هیچ ارائه‌دهنده خدمتی بر روی زنجیره بلوکی ثبت نشده و هر پاسخ ارسالی رد می‌گردد. بدیهی است که برای رمزگشایی این پاسخ‌ها نیاز به کلید خصوصی ارائه‌دهنده خدمت درخواست دهنده (SP_A) است. بعد از ثبت تمامی پیشنهادات بر روی زنجیره‌بلوکی، ارائه‌دهنده خدمت درخواست دهنده کلید خصوصی خود را در قالب یک تراکنش به زنجیره بلوکی اضافه می‌کند تا قرارداد هوشمند بتواند با استفاده از کلید خصوصی بسته‌ها را

^{۳۴} Local

^{۳۵} Trust

^{۳۶} Request For Proposal

^{۳۰} End-to-End

^{۳۱} Integer Linear Programming

^{۳۲} Fabric

^{۳۳} Factory As a Service

دهد تا برای برقراری برش شبکه با کاربر و ارائه سرویس به آن، تجاوز نکند.

- مدت زمان: مدت زمانی است که ارائه دهنده خدمت تضمین می دهد در آن بازه قادر به ارائه خدمت به کاربر خواهد.

پارامترهای بالا، معیارهایی هستند که بر اساس آن پیشنهاد برتر از میان پیشنهادهای ارائه دهندگان خدمت مختلف توسط قرارداد هوشمند انتخاب می شود. بر اساس برش شبکه ای که کاربر در حال سرویس گیری از آن است و پارامترهای مرتبط با آن، پیشنهاد همه ارائه دهندگان خدمت دیگر بررسی و اولویت بندی می شود. بر اساس اولویت های موجود برای هر برش، پیشنهاد برتر از میان پیشنهادهای ارائه دهندگان خدمت انتخاب شده و ارائه دهنده خدمت برنده این مناقصه در قالب یک تراکنش به تمامی اعضای موجود در زنجیره بلوکی اعلام شده و سپس با هدف ارائه خدمات به کاربر، ارتباط میان ارائه دهنده خدمت جدید و کاربر برقرار می شود. در این رویکرد اولویت پارامترها در انتخاب پیشنهاد برتر در هر سه برش شبکه eMBB، uRLLC و mMTC که در شکل ۱ به تصویر کشیده شده اند، لحاظ شده است.

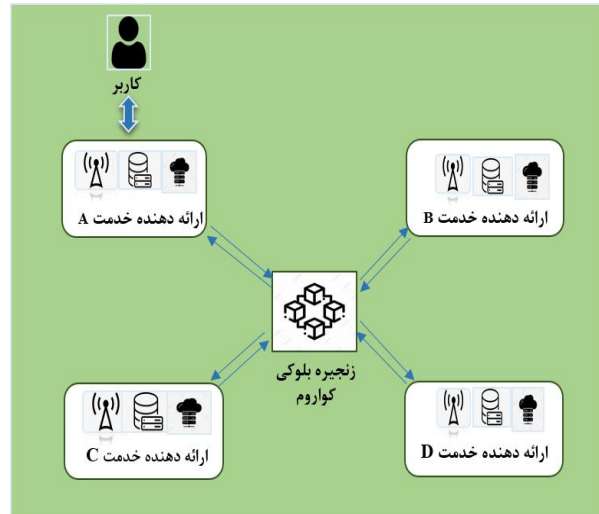
در جدول ۲، فهرستی از پارامترها و نیازمندی های شبکه 5G که اولویت پارامترها در برش های مختلف با توجه به ویژگی های هر یک از آن ها متفاوت است را نشان می دهد [۱۶]. هر یک از برش های شبکه مختص نیازها و سرویس های خاص موجود در شبکه 5G است: uRLLC برش شبکه ای است که به سرویس هایی پاسخ می دهد که نیاز با تأخیر زمانی بسیار پایینی دارند. برش شبکه mMTC به سرویس های که مربوط به دستگاه های اینترنت اشیا هست، اختصاص یافته و با حجم بالایی از داده ها و دستگاه های IoT مواجه است. برش شبکه eMBB نیز برای سرویس های ارائه شده برای کاربران تلفن های همراه و مشترکان شبکه های سلولی در نظر گرفته شده است [۶-۷].

جدول ۲ - پارامترهای دسته بندی برش های شبکه [۱۷]

شماره	پارامترهای دسته بندی برش ها	شماره	پارامترهای دسته بندی برش ها
۱	تأخیر	۸	توان عملیاتی
۲	قابلیت سیار بودن	۹	نرخ داده ای
۳	قدرت توانی	۱۰	نرخ داده ای کاربر
۴	قیمت ارائه سرویس	۱۱	قابلیت دسترسی پذیری
۵	تراکم ترافیک	۱۲	قابلیت اطمینان
۶	تراکم اتصال	۱۳	امنیت
۷	محدوده پوشش		

در جدول ۲ تمامی پارامترهای دسته بندی قطعات شبکه ذکر شده است. همچنین در [۸] نیز از پنج پارامتر مطابق با جدول ۳، در فرآیند انتخاب بسته پیشنهادی برتر از میان پیشنهادات تمامی ارائه دهندگان خدمت که از طریق سکوی DBNS با یکدیگر در ارتباط هستند، بهره گیری شده است. در جدول ۳، این پنج پارامتر ذکر شده اند. مدت ارائه سرویس، مدت زمانی است که ارائه دهنده خدمت متعهد شده است تا به کاربر ارائه خدمت کند. همچنین قیمت ارائه سرویس نیز از پارامترهای بسته پیشنهادی ارائه دهنده خدمت است. تأخیر ارائه سرویس^{۳۸}، مدت زمانی است که ارائه دهنده خدمت متعهد شده است تا

رمزگشایی می کند. لذا با بهره گیری از این قرارداد هوشمند شفافیت داده میان پیشنهادات ارائه دهندگان خدمت برقرار شده و از امکان تقلب در فرآیند انتخاب پیشنهاد برتر جلوگیری می شود. پس از اینکه بسته ها رمزگشایی شد، باید بهترین پیشنهاد را انتخاب کرد.



شکل ۲ - محیط DBNS هوشمند

نمادها و متغیرهای استفاده شده در مقاله در جدول ۱ توضیح داده شده اند.

جدول ۱ - نمادها و متغیرهای استفاده شده

نماد	توضیح
D_i	دامنه شبکه ای i ام
T_i	تأخیر سرویس ارائه شده توسط ارائه دهنده خدمت SP_i
Q_i	شاخص کیفیت سرویس ارائه شده توسط ارائه دهنده خدمت SP_i
P_i	مدت زمان سرویس ارائه شده توسط ارائه دهنده خدمت SP_i
L_i	موقعیت سرویس ارائه شده توسط ارائه دهنده خدمت SP_i
C_i	قیمت سرویس ارائه شده توسط ارائه دهنده خدمت SP_i
Bid_i	تابع پیشنهادی ارائه دهنده خدمت SP_i
U_i	کاربر سرویس گیرنده i ام
BS_i	پایگاه کاری i ام
SP_i	ارائه دهنده خدمت i ام

در هر پیشنهاد، SP باید موارد زیر را در داخل بسته پیشنهادی قرار دهد

[۸]:

- محل: موقعیت ارائه دهنده خدمت را نشان داده و فاصله آن با ارائه دهنده خدمت درخواست دهنده را نشان می دهد.
- قیمت: قیمت پیشنهادی که ارائه دهنده خدمت در ازای ارائه این سرویس درخواست می کند.
- شاخص های کیفیت سرویس: شاخص های QoS^{37} ای که ارائه دهنده خدمت به برقراری آن ها تضمین خواهد داد.
- میانگین تأخیر: میانگین تأخیری که ارائه دهنده خدمت تضمین می

^{۳۷} Quality Of Service

^{۳۸} Delay of Service

می‌کنند، باید داده‌های انتخابی را نرمال‌سازی نمود. با استفاده از رویکرد تقسیم هر پارامتر بر مجموع سایر پارامترها و با استفاده از روابط (۱)، (۲)، (۳)، (۴) و (۵) برای نرمال‌سازی این پارامترها اقدام شده است. بر اساس این روابط، پارامترها به همراه نمادهای اختصاصی آن‌ها، به شرح زیر هستند:

- متغیر T_i نمایانگر تأخیر سرویس ارائه شده توسط ارائه‌دهنده خدمت SP_i
- متغیر Q_i نمایانگر شاخص کیفیت سرویس ارائه شده توسط ارائه‌دهنده خدمت SP_i
- متغیر P_i نمایانگر مدت زمان سرویس ارائه شده توسط ارائه‌دهنده خدمت SP_i
- متغیر L_i نمایانگر موقعیت سرویس ارائه شده توسط ارائه‌دهنده خدمت SP_i
- متغیر C_i نمایانگر قیمت سرویس ارائه شده توسط ارائه‌دهنده خدمت SP_i

در پیاده‌سازی DBNS هوشمند نیز علاوه بر ارائه‌دهنده خدمت درخواست دهنده (SP_1)، دو ارائه‌دهنده خدمت SP_2 و SP_3 را نیز به شبکه اضافه نموده و فرض شده که شبکه دارای دو ارائه‌دهنده خدمت پیشنهاد دهنده (SP_2 و SP_3) است. با بهره‌گیری از روابط (۱)، (۲)، (۳)، (۴) و (۵) مقادیر پارامترهای ذکر شده در جدول ۲، برای دو ارائه‌دهنده خدمت پیشنهاد دهنده SP_2 و SP_3 محاسبه می‌شود.

در رابطه‌ی (۱) نسبت قیمت اعلام‌شده از سمت ارائه‌دهنده خدمت SP_i به مجموع قیمت سایر ارائه‌دهندگان خدمت محاسبه می‌گردد. در رابطه (۲) نسبت پارامترهای کیفیت سرویس اعلام‌شده از سمت ارائه‌دهنده خدمت SP_i به مجموع پارامترهای کیفیت سرویس سایر ارائه‌دهندگان خدمت محاسبه می‌گردد. رابطه (۳) نمایانگر نسبت فاصله‌ی محل ارائه‌دهنده خدمت SP_i به مجموع فواصل سایر ارائه‌دهندگان خدمت است. رابطه (۴) نیز نمایانگر همین نسبت برای تأخیر ارائه سرویس و رابطه (۵) نیز نسبت مدت‌زمان ارائه سرویس توسط سایر ارائه‌دهندگان خدمت است. پس از اینکه مقدار نرمال شده پارامترهای پنج‌گانه $\{C_i, D_i, L_i, P_i, Q_i\}$ برای SP_i محاسبه شد، تابع پیشنهاد^{۴۰} بر اساس برش‌های شبکه مختلف محاسبه می‌شود. علت اینکه برای هر برش شبکه تابع پیشنهاد جداگانه محاسبه شده است، تفاوت ضرایب در پارامترهای پنج‌گانه $\{C_i, D_i, L_i, P_i, Q_i\}$ است. روابط (۱)، (۲)، (۳)، (۴) و (۵) به شرح زیر هستند:

$$\text{for } i = 1, \dots, N$$

$$P_i = \frac{P_i}{\sum_{j=1:N, i=j} P_j} \quad (1)$$

$$Q_i = \frac{Q_i}{\sum_{j=1:N, i=j} Q_j} \quad (2)$$

$$L_i = \frac{L_i}{\sum_{j=1:N, i=j} L_j} \quad (3)$$

$$T_i = \frac{T_i}{\sum_{j=1:N, i=j} T_j} \quad (4)$$

$$C_i = \frac{C_i}{\sum_{j=1:N, i=j} C_j} \quad (5)$$

ارائه خدمت بیش از آن زمان با تأخیر مواجهه نگردد. پارامتر محل^{۳۹} موقعیت ارائه‌دهنده خدمت را در شبکه نشان می‌دهد. پارامترهای کیفیت ارائه سرویس (QoS) نیز از پارامترهای مهم در بسته پیشنهادی ارائه‌دهندگان خدمت است.

جدول ۳ - پارامترهای دسته‌بندی انتخابی برای گزینش پیشنهاد برتر [۸]

شماره	پارامتر دسته‌بندی برش‌های شبکه
۱	مدت ارائه سرویس
۲	قیمت ارائه سرویس
۳	تأخیر ارائه سرویس
۴	کیفیت ارائه سرویس
۵	محل ارائه‌دهنده سرویس

a. انتخاب پیشنهاد برتر در DBNS هوشمند

به جهت اثربخشی بیشتر پارامتر در مقایسه با سایر پارامترها، به هریک از آن‌ها ضریبی را اعمال می‌کنیم. این ضرایب از ۵ تا ۱ بوده و به ترتیب از مهم‌ترین به کم‌اهمیت‌ترین پارامتر اعمال می‌شود. به‌طور مثال عدد 5X نمایانگر ضریب ۵ پارامتر در انتخاب پیشنهاد برتر بوده و به همین ترتیب می‌توان اثربخشی پارامتر با اولویت بیشتر را انتخاب کرد. مطابق با جدول ۴، به‌طور مثال، در برش شبکه URLLC پارامتر، تأخیر بالاترین اولویت و اهمیت را داشته و پارامتر قیمت ارائه سرویس پایین‌ترین اولویت و اهمیت را دارا است. لذا در برش شبکه uRLLC به پارامتر تأخیر ضریب ۵ و به پارامتر قیمت ضریب ۱ را اعمال می‌کنیم. همین روند به ترتیب برای برش‌های شبکه mMTC و eMBB اعمال شده و اولویت‌ها به همراه ضرایب مشخص می‌شوند.

جدول ۴ - اولویت‌های پارامتریک برش‌های شبکه در انتخاب پیشنهاد برتر

برش شبکه / پارامتر	mMTC	uRLLC	eMBB
تأخیر ارائه سرویس	اولویت دوم 4X	اولویت اول 5X	اولویت سوم 3X
کیفیت ارائه سرویس	اولویت سوم 3X	اولویت دوم 4X	اولویت اول 5X
محل ارائه‌دهنده سرویس	اولویت اول 5X	اولویت سوم 3X	اولویت دوم 4X
مدت ارائه سرویس	اولویت چهارم 2X	اولویت پنجم 1X	اولویت پنجم 1X
قیمت ارائه سرویس	اولویت پنجم 1X	اولویت پنجم 1X	اولویت چهارم 2X

پارامترهای انتخابی ما در جدول ۳ و اولویت آن‌ها در جدول ۴ ذکر شده است. با توجه به اینکه پارامترهای انتخابی از واحدهای مختلفی استفاده

^{۴۰} Bid Function

^{۳۹} Location

(PK_{SP_i}) رمز کرده است را بر روی زنجیره بلوکی ثبت می‌کند. (خطوط ۱ تا ۳) تایمری برای کنترل زمانی ثبت پیشنهادات سایر SP ها تنظیم می‌شود. بعد از انقضای زمان تایمر دیگر هیچ پیشنهادی بر روی زنجیره بلوکی ثبت نمی‌شود. تمامی SP بسته پیشنهادی خود را با استفاده از کلید عمومی SP درخواست دهنده بر روی زنجیره بلوکی ثبت می‌کنند. (خطوط ۴ تا ۱۰) سپس SP درخواست دهنده کلید خصوصی خود را بر روی زنجیره بلوکی ثبت می‌کند تا قرارداد هوشمند بتواند، بسته های پیشنهادی را رمزگشایی کند. (خطوط ۱۱ تا ۱۴) در نهایت قرارداد هوشمند با تشکیل تابع Bid_i پیشنهادات سایر SP ها را بررسی کرده و با انتخاب SP برنده، منابع جدید را به شبکه اضافه می‌کند. (خطوط ۱۵ تا ۲۰) الگوریتم ۱ تخصیص منابع امن مبتنی بر قرارداد هوشمند را در پلتفرم DBNS به تصویر کشیده است.

الگوریتم ۱ - تخصیص منابع امن مبتنی بر قرارداد هوشمند

Algorithm 1 Smart Contract-based Secure Resource Allocation

Input: T_i, Q_i, P_i, L_i, C_i
Output: Winner SP

- 1: for $i=1$ to D do
- 2: **if** $D_i == \text{Full}$ **then**
- 3: **setRFP** (PK_{SP_i})
- 4: begin Timer
- 5: SP_d Submit the RFP
- 6: **setRTP**(T_i, Q_i, P_i, L_i, C_i)
- 7: All SP_s submit their bids (PK_{SP_i})
- 8: **EndRTP**
- 9: EndTimer
- 10: **End RFP**
- 11: **setDecryptBid**
- 12: SP_d Submit the Private key (PK_{SP_i})
- 13: All the bids decrypted
- 14: **EndDecryptBid**
- 15: Obtaining Bid, Func
- 16: **setWinnerSP**
- 17: **EndsetwinnerSP**
- 18: **end if**
- 19: $SP_d \rightarrow \text{new } SP_d$
- 20: **end for**

۴- پیاده‌سازی DBNS هوشمند

پیاده‌سازی DBNS هوشمند در دو بخش کلی انجام شده است:

- بخش اول: پیاده‌سازی شبکه ارتباطی میان ارائه‌دهندگان خدمت در محیط برش شبکه با استفاده از شبیه‌ساز NS-3
- بخش دوم: پیاده‌سازی زنجیره بلوکی کوآروم و توسعه قرارداد هوشمند برای انجام انتخاب پیشنهاد برتر هم‌زمان با برقراری شفافیت داده میان ارائه‌دهندگان خدمت

ابتدا به بررسی پیاده‌سازی بخش اول سکوی DBNS و شبیه‌سازی شبکه ارتباطی می‌پردازیم. برای پیاده‌سازی بخش اول از شبیه‌ساز NS-3 v3.26 استفاده شده است. NS-3 شبیه‌ساز شبکه‌ای - مخابراتی متن‌بازی است که مبتنی بر سطح بسته عمل می‌کند. مطابق با شکل ۳ پس از تعریف کاربر U_A ، این کاربر در حال تماشای چهار نوع ویدئو با کیفیت‌های 2K، 1080P، 720P و 4K است که این ویدئوها هر یک به نرخ بیت به ترتیب، ۲، ۴، ۱۵ و ۲۵ مگابیت بر ثانیه، نیاز دارند. قبل از ایجاد ترافیک لازم برای شبکه، پایگاه کاری A (BS_A) را تعریف می‌کنیم. برای ارتباط کاربر U_A با BS_A از مدل آنتن ایزوتروپیک^{۴۱}

توابع موردنظر برای به دست آوردن پیشنهاد برتر بر اساس برش شبکه را به شرح زیر محاسبه می‌کنیم. رابطه (۶) نمایانگر تابع پیشنهاد برای برش شبکه URLLC است:

$$uRLLC : \quad (6) \quad bid_i = \frac{2P_i + 4Q_i}{3L_i + 5T_i + C_i}$$

برای برش شبکه mMTC پیشنهاد i ام با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود. ضرایب اعمال شده برای پارامترهای پنج‌گانه $\{P_i, T_i, L_i, Q_i, C_i\}$ مطابق با جدول ۴ است.

$$mMTC : \quad (7) \quad bid_i = \frac{2P_i + 3Q_i}{5L_i + 4T_i + C_i}$$

و برای برش شبکه eMBB نیز پیشنهاد i ام با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌گردد. ضرایب اعمال شده برای پارامترهای پنج‌گانه $\{P_i, T_i, L_i, Q_i, C_i\}$ مطابق با جدول ۴ است.

$$eMBB : \quad (8) \quad bid_i = \frac{P_i + 5Q_i}{4L_i + 3T_i + 2C_i}$$

از میان پارامترهای پنج‌گانه $\{P_i, T_i, L_i, Q_i, C_i\}$ ، پارامترهای $(Q_i$ و $P_i)$ فارغ از نوع برش شبکه، روند صعودی مطلوب بوده و هر چه مقدارشان بیشتر باشد، در انتخاب پیشنهاد برتر، مناسب‌تر و برای بیشینه کردن تابع bid_i بهتر هستند. در پارامترهای $(L_i$ و $T_i, C_i)$ نیز روند نزولی مطلوب بوده و هر چه مقدارشان کمتر باشند، در روند انتخاب پیشنهاد برتر، مناسب‌تر و برای بیشینه نمودن تابع bid_i بهتر هستند. پارامترهای $(Q_i$ و $P_i)$ که به ترتیب بیانگر، نسبت مدت زمان و کیفیت ارائه سرویس ارائه‌دهنده خدمت i ام (SP_i) به مجموع مدت زمان و کیفیت ارائه سرویس سایر ارائه‌دهندگان خدمت هستند. این نسبت‌ها با استفاده از روابط (۱) و (۲) به دست آمده‌اند. در بسته‌ی پیشنهادی ارائه‌دهندگان خدمت، هر چه این دو پارامتر مقدار بیشتری داشته باشند، بهتر بوده و طبیعتاً مقدار نسبت آن‌ها نیز بالاتر خواهند بود. این دو مقدار به دلیل روند صعودی-مطلوب، در صورت کسر تابع پیشنهاد قرار گرفته‌اند تا تابع bid_i را بیشینه کنند. پارامترهای (L_i, T_i, C_i) که به ترتیب بیانگر، موقعیت، تأخیر و قیمت ارائه سرویس از سوی ارائه‌دهنده خدمت SP_i هستند، با استفاده از روابط (۳) و (۴) و (۵) به دست می‌آیند. هر چه مقدار عددی این سه پارامتر کمتر باشد، به همان میزان، نسبت آن‌ها نیز کمتر خواهد بود. در روند انتخاب پیشنهاد برتر، به طور مثال مهم است که قیمت ارائه سرویس تا حد امکان کمینه باشد و یا فاصله ارائه‌دهنده سرویس ثانویه با ارائه‌دهنده سرویس اولیه، در کمترین حالت ممکن باشد. به این دلیل، این سه پارامتر که روند نزولی-مطلوب دارند، در مخرج کسر تابع پیشنهاد قرار می‌گیرند تا کل تابع bid_i بیشینه گردد.

b. پلتفرم پیشنهادی

در این بخش به بررسی الگوریتمیک پلتفرم پیشنهادی می‌پردازیم. در DBNS هوشمند با استفاده از یک قرارداد هوشمند میان تمامی گره‌های ثبت شده بر روی زنجیره بلوکی، که در واقع SP های موجود در دامنه‌های شبکه هستند، می‌توان طی یک فرآیند امن و شفاف، جایگزینی برای دامنه‌های اشباع شده را یافت.

اگر منابع موجود در دامنه پر شده و SP متناظر نتواند به درخواست تخصیص منابع جدید پاسخ دهد، درخواست (RFP) را که با کلید عمومی خود

^{۴۱} LTE eNodeB Isotropic

محاسبه می‌شوند:

$$P_2 = \frac{P_2}{P_2 + P_3}; P_3 = \frac{P_3}{P_3 + P_2} \quad (9)$$

$$Q_2 = \frac{Q_2}{Q_2 + Q_3}; Q_3 = \frac{Q_3}{Q_3 + Q_2} \quad (10)$$

$$L_2 = \frac{L_2}{L_2 + L_3}; L_3 = \frac{L_3}{L_3 + L_2} \quad (11)$$

$$T_2 = \frac{T_2}{T_2 + T_3}; T_3 = \frac{T_3}{T_3 + T_2} \quad (12)$$

$$C_2 = \frac{C_2}{C_2 + C_3}; C_3 = \frac{C_3}{C_3 + C_2} \quad (13)$$

با استفاده از روابط (۹)، (۱۰)، (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) مقادیر پارامترهای پیشنهادی ارائه‌دهندگان خدمت SP_2 و SP_3 نرمال می‌شوند. به‌عنوان مثال C_2 نسبت قیمت اعلامی SP_2 به SP_3 و C_3 دقیقاً عکس این مقدار را محاسبه می‌کند. سایر مقادیر نیز با استفاده از این روش و مطابق روابط بالا به دست می‌آیند. حال با توجه به رابطه‌ی (۶) که برای برش شبکه uRLLC محاسبه شد، مقادیر Bid_2 و Bid_3 به شرح زیر به دست می‌آیند:

$$bid_2 = \frac{2P_2 + 4Q_2}{3L_2 + 5T_2 + C_2} \quad (14)$$

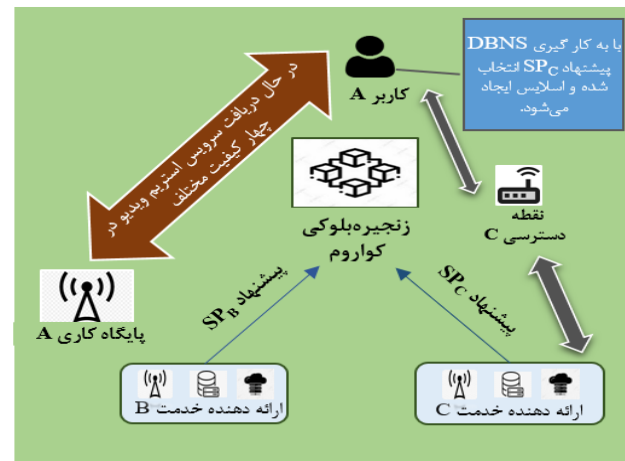
$$bid_3 = \frac{2C_3 + 4Q_3}{3L_3 + 5T_3 + C_3} \quad (15)$$

با محاسبه‌ی روابط (۱۴) و (۱۵) که به ترتیب نمایانگر پیشنهاد ارائه سرویس برای ارائه‌دهندگان خدمت SP_2 و SP_3 هستند و مقایسه آن‌ها می‌توان پیشنهاد برتر را انتخاب و برنده‌ی مناقسه را با استفاده از قرارداد هوشمند انتخاب نمود. چون روند تابع bid_i (پیشنهاد i ام) بیشینه مطلوب است، لذا از میان bid_2 و bid_3 پیشنهادی انتخاب می‌شود که مقدار بیشتری داشته باشد. پیشنهاد انتخاب‌شده توسط قرارداد هوشمند در قالب یک تراکنش بر روی زنجیره‌بلوکی ثبت‌شده و سپس به ارائه‌دهنده خدمت درخواست دهنده، اعلام می‌گردد. حال با استفاده از تعریف یک نقطه‌ی دسترسی مطابق با سناریوی توسعه مطرح‌شده در شکل ۳ می‌توان ارتباط میان کاربر با ارائه‌دهنده خدمت برنده مناقسه را برقرار کرد تا کاربر بتواند به دریافت سرویس خود با کیفیت خواسته‌شده، دست یابد.

a. شبیه‌سازی و تحلیل نتایج

در این قسمت به بررسی خروجی‌های روش DBNS هوشمند پرداخته و میانگین تأخیر و گذرده‌ی 47 این روش را در سه برش شبکه، uRLLC، mMTC و eMBB با روش DBNS [۸] مقایسه و تحلیل شده است. کاربر U_A با بهره‌گیری از یک برش شبکه uRLLC در حال تماشای ۴ نوع ویدیو مختلف با کیفیت‌های ۱۵، ۴، ۲۵ و ۱۰۸۰P، ۲K و 4K است که این ویدیوها هر یک به نرخ بیت به ترتیب، ۲، ۴، ۱۵ و ۲۵ مگابیت بر ثانیه، نیاز دارند. پاسخ به سرویس‌های 720P و 1080P به‌صورت محلی امکان‌پذیر است، لذا هم روش DBNS و هم روش پیشنهادی برای برش شبکه uRLLC، در مقایسه با روش عدم استفاده از DBNS، تأخیر بیشتری دارند؛ اما با بالا رفتن نرخ بیت درخواستی و لزوم تغییر ارائه‌دهنده

استفاده‌شده است [۸]. آنتن ایزوتروپیک آنتن نظری است که به‌طور مساوی در همه جهات، به‌صورت افقی و عمودی، با شدت یکسان تابش می‌کند. در BS_A از مدل تلفات مسیر فضای آزاد فریس 42 استفاده می‌شود که برای مدل‌سازی مسیر دید مستقیم (LOS) 43 در یک فضای آزاد استفاده می‌شود. پس از تعریف دو مؤلفه‌ی BS_A و U_A ، نیاز به افزودن زنجیره‌بلوکی کوآروم و سایر ارائه‌دهندگان خدمت موجود در شبکه است. با استفاده از رابط‌های کاربری (API) 44 که کوآروم برای ما مهیا می‌کند، ارتباط میان زنجیره‌بلوکی و ارائه‌دهندگان خدمت SP_B و SP_C را با SP_A برقرار می‌کند. پس از عدم توانایی SP_A در پاسخ‌گویی به درخواست کاربر و نیاز تغییر ارائه‌دهنده خدمت، لازم است تا یک نقطه دسترسی مابین ارائه‌دهنده خدمت جدید و کاربر U_A تعریف شود تا بتواند از این نقطه به ارائه خدمت به کاربر بپردازد. برای این نقطه دسترسی (AP_C)، از ارتباط بی‌سیم تحت استاندارد 802.11ac استفاده شده است. حالت عملکرد بسیار بالا (VHT) 45 در استاندارد 802.11ac ارائه‌شده است. این استاندارد، فقط در باند ۵ گیگاهرتز موجود است. همچنین برای Wi-Fi Path Loss model نیز از مدل محوشدگی لگاریتم فاصله log-distance استفاده‌شده است که یک مدل انتشار رادیویی است که محوشدگی سیگنال را در داخل ساختمان یا مناطق پرجمعیت با فاصله زیاد پیش‌بینی می‌کند [۴].



شکل ۳ - سناریوی پیاده‌سازی شده برای DBNS هوشمند

برای پیاده‌سازی زنجیره‌ی بلوکی و بخش دوم سکوی DBNS از نسخه Quorum 2.5.0 که با عنوان Go Quorum معرفی شده است، استفاده شده است. این زنجیره‌بلوکی دارای چندین لایه مختلف بوده که هر لایه وظیفه مشخصی دارد. کوآروم ویزارد 46 داشبورد مدیریتی است که با استفاده از آن می‌توان پیکربندی لایه‌های کوآروم را انجام داد [۹]. قرارداد هوشمندی را بر روی کوآروم طراحی و اجرا شده است تا بتوان با استفاده از آن، اولاً شفافیت داده‌ای میان ارائه‌دهندگان سرویس ایجاد کرد و سپس پیشنهاد برتر را از میان پیشنهادات آن‌ها انتخاب نمود.

مطابق با سناریوی شرح داده‌شده در انتخاب پیشنهاد برتر، در مورد پیاده‌سازی شده، یک ارائه‌دهنده خدمت درخواست دهنده و دو ارائه‌دهنده خدمت پیشنهاددهنده در روند مناقسه شرکت خواهند نمود و پیشنهاد برتر از میان پیشنهاد آن‌ها انتخاب خواهد شد. به‌عنوان مثال برای برش شبکه uRLLC مقدار $i=2,3$ خواهد بود و روابط نرمال‌سازی و تابع bid_2 و bid_3 که به شرح زیر

45 Very High Throughput

46 Quorum Wizard

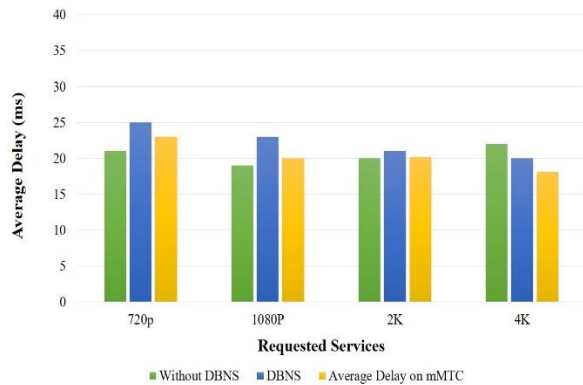
47 Throughput

42 Friis Propagation Loss Model

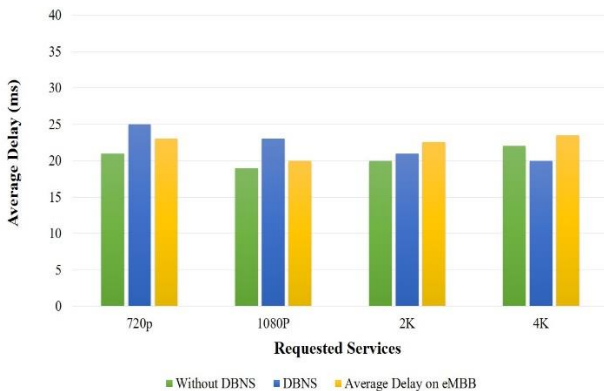
43 Line Of Sight

44 Application Programming Interface

رفتن نرخ بیت و نیاز به تغییر SP، در دو سرویس 2K و 4K میانگین تأخیر در مقایسه با دو روش دیگر بالاتر رفته است.



شکل ۵ - میانگین تأخیر در برش شبکه mMTC



شکل ۶ - میانگین تأخیر در برش شبکه eMBB

جدول ۶ - مقایسه نتایج میانگین تأخیر روش پیشنهادی با سایر روش‌ها

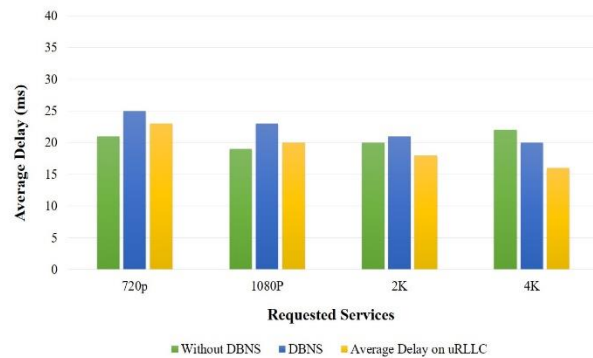
رویکرد سرویس	بدون استفاده از DBNS	با استفاده از DBNS	DBNS هوشمند	DBNS هوشمند	DBNS هوشمند
سرویس 720P	۲۱ میلی ثانیه	۲۵ میلی ثانیه	۲۳ میلی ثانیه	۲۳ میلی ثانیه	۲۳ میلی ثانیه
سرویس 1080P	۱۹ میلی ثانیه	۲۳ میلی ثانیه	۲۰ میلی ثانیه	۲۰ میلی ثانیه	۲۰ میلی ثانیه
سرویس 2K	۲۰ میلی ثانیه	۲۱ میلی ثانیه	۱۸/۰۰۳ میلی ثانیه	۲۰/۱۷۴ میلی ثانیه	۲۲/۵۵۶ میلی ثانیه
سرویس 4K	۲۲ میلی ثانیه	۲۰ میلی ثانیه	۱۵/۹۹۳ میلی ثانیه	۱۸/۰۰۸ میلی ثانیه	۲۳/۴۷۶ میلی ثانیه

بعد از بررسی میانگین تأخیر در روش پیشنهادی، به بررسی گذردهی این روش پرداخته و آن را با تخصیص منابع به صورت محلی و رویکرد DBNS مقایسه و تحلیل می‌کنیم. شاخص گذردهی که معمولاً آن را با نرخ بیت^{۴۸} می‌سنجند،

خدمت، این روند عوض می‌شود. در دو سرویس بعدی 4K و 2K، میانگین تأخیر برای روش پیشنهادی از هر دو روش استفاده از DBNS و عدم استفاده از آن، کاهش پیدا کرده است. این روند در شکل ۴ به تصویر کشیده شده است. در جدول ۵ نیز، نرم‌افزارها و پارامترهای به کار گرفته شده در پیکربندی DBNS هوشمند ذکر شده است.

جدول ۵ - نرم‌افزارها و پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی

شبیه‌ساز شبکه‌ای	NS-3 v3.26
زنجیره بلوکی	Quorum v2.5.0
مدت زمان شبیه‌سازی	۳۰۰ ثانیه
استاندارد Wi-Fi	802.11 ac
تنظیمات Wi-Fi	حالت VHT
مدل از دست رفت داده‌ای Wi-Fi	حالت Log-dist. Propagation
مدل آنتن LTE	Isotropic Antenna Model



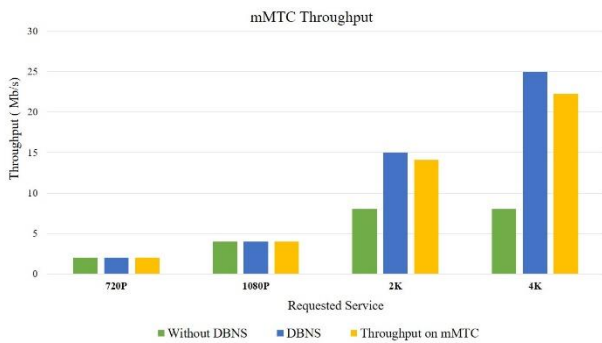
شکل ۴ - میانگین تأخیر در برش شبکه uRLLC

در شکل ۵ خروجی میانگین تأخیر برای برش شبکه mMTC به تصویر کشیده شده است. در این برش نیز با توجه به جدول ۶، با افزایش نرخ بیت برای سرویس درخواستی بهبود طرح پیشنهادی را اثبات می‌کند. در برش mMTC نیز مشابه با برش uRLLC در سرویس‌های 720P و 1080P به دلیل تخصیص محلی منابع، تأخیر روش نسبت به عدم استفاده از DBNS بالاتر است؛ اما حتی در این سرویس‌ها نیز روش پیشنهادی برای برش شبکه mMTC از روش استفاده از DBNS میانگین تأخیر کمتری را دارا است. نمودار زرد رنگ نمایانگر روش پیشنهادی، نمودار آبی رنگ نمایانگر روش استفاده از DBNS و نمودار سبز رنگ نمایانگر روش عدم استفاده از DBNS است.

در شکل ۶، خروجی میانگین تأخیر برای برش شبکه eMBB به تصویر کشیده شده است. نمودار زرد رنگ نمایانگر روش پیشنهادی، نمودار آبی رنگ نمایانگر روش استفاده از DBNS و نمودار سبز رنگ نمایانگر روش عدم استفاده از DBNS است که روش پیشنهادی برای برش شبکه eMBB میانگین تأخیر نسبت به رویکرد استفاده از DBNS و هم عدم استفاده از آن کمی بیشتر شده است و این موضوع نیز به دلیل اولویت پایین‌تر میزان تأخیر در انتخاب پیشنهاد برتر است. شایان ذکر است بنا به دلایل ذکر شده برای دو برش شبکه‌ی uRLLC و mMTC و به دلیل اینکه ما توانستیم از پیچیدگی‌های محاسباتی شبکه در مقایسه با روش استفاده از DBNS کم کنیم، در دو سرویس 720P و 1080P هم چنان از تأخیر کمتری نسبت به روش DBNS برخورداریم؛ اما با توجه به اینکه در برش شبکه‌ی eMBB پارامتر تأخیر از اولویت کمتری برخوردار است، با بالا

^{۴۸} Bit Rate

SP ها جهت جایگزینی و ارائه منابع بیشتر است. در دو سرویس 720P و 1080P مشابه برش قبلی، SP توانایی تخصیص منابع به صورت محلی را داشته و نرخ گذردهی برای هر سه رویکرد برابر است. سرویس دنباله ویدیو با کیفیت 2K در برش mMTC به پهنای باند 15 Mb/s برای پخش و اجرا نیاز دارد. در رویکرد DBNS گذردهی خروجی برای سرویس 2K مطابق با شکل ۷ برابر با 15 Mb/s است. در روش پیشنهادی با توجه به پایین بودن اولویت پارامتر کیفیت ارائه سرویس (QoS) مطابق با جدول شماره ۴، گذردهی خروجی در سرویس 2K پایین آمده و برابر با 14.1 Mb/s است. در روش پیشنهادی و سرویس 4K، گذردهی خروجی برابر با 22.3 Mb/s بوده است. دلیل افت گذردهی در روش پیشنهادی با وجود جایگزینی SP جدیدتر، اولویت پایین پارامتر کیفیت ارائه سرویس در فرآیند انتخاب SP جانشین است که باعث افت جزئی نرخ بیت مورد نیاز سرویس کاربر شده است.



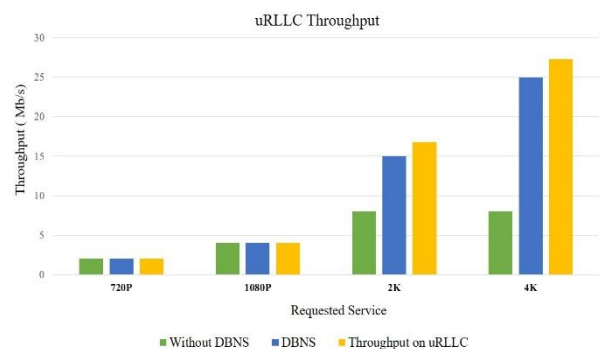
شکل ۸ - گذردهی روش پیشنهادی در برش mMTC

شکل شماره ۹، گذردهی روش پیشنهادی در برش eMBB را به تصویر کشیده است. این برش شبکه ارتباطات سلولی با محدوده پوششی بالاست که به اینترنت در سطح گسترده دسترسی دارند. در این برش برخلاف دو برش uRLLC و mMTC پارامتر کیفیت ارائه سرویس (QoS) بالاترین اولویت را داشته و در فرآیند انتخاب SP توسط قرارداد هوشمند، بیشترین ضریب اثر را دارد. در دو سرویس 720P و 1080P مطابق با دو برش قبلی، SP به صورت محلی درخواست تخصیص نرخ بیت مورد نیاز برای دنباله ویدیو کاربر را استجاب کرده و بدون مشکل به کاربر مورد نظر خدمات ارائه داده است. اما رویکرد تخصیص منابع محلی، به دلیل محدودیت منابع موجود SP و افزایش درخواست تخصیص منابع از سوی کاربر، با مشکل روبه رو شده و بیشینه گذردهی خروجی 8 Mb/s را ارائه داده است. رویکرد DBNS نیز با تغییر SP توانسته است با جایگزینی منابع جدید، بتواند به نرخ بیت مورد نیاز سرویس 2K برای پخش و اجرای بدون مشکل دست یافته و مطابق با شکل ۱۱، نرخ بیت 15 Mb/s را ثبت کند. اما در روش پیشنهادی با توجه اولویت بالای پارامتر کیفیت ارائه سرویس (QoS)، مطابق با جدول شماره ۴، روش پیشنهادی نرخ بیت بیشتری برای سرویس 2K توسط SP جانشین ارائه داده است. دلیل این امر نیز این است که قرارداد هوشمند از میان پیشنهادات ارائه سرویس توسط سایر SP ها، پیشنهادی را انتخاب می‌کند که بالاترین QoS را برای کاربر ارائه دهد. بدین ترتیب در سرویس 2K و برش eMBB گذردهی بهبود یافته و برابر با 17.3 Mb/s می‌باشد. مطابق با شکل ۹، روش پیشنهادی در سرویس 4K با جایگزینی SP با اولویت بالاتر توانسته است تا نرخ بیت 28.7 Mb/s را برای ارائه به کاربر پشتیبانی کند. با توجه به اول بودن اولویت پارامتر QoS در فرآیند انتخاب SP جانشین در برش eMBB، قرارداد هوشمند، SP بالاترین پیشنهادی QoS را انتخاب می‌کند. این مهم این امکان را فراهم می‌دهد که شبکه هنگامی که با افزایش درخواست‌های تخصیص منبع روبه‌رو می‌شود، بتواند نیازمندی‌های کاربران را پاسخ داده و از افت کیفیت ارائه خدمات به کاربر جلوگیری کند.

تعداد بیت‌هایی است که در واحد زمان (بیت بر ثانیه) منتقل یا پردازش می‌گردد. در سناریوی شبیه‌سازی DBNS هوشمند از چهار سرویس پخش ویدیو استفاده شده است. چهار سرویس پخش ویدیو با کیفیت‌های 720P، 1080P، 2K و 4K برای بررسی میزان گذردهی شبکه به کار گرفته شده است. هر یک از این چهار ویدیو به نرخ بیت حداقل به ترتیب 2 Mb/s، 4 Mb/s، 15 Mb/s و 25 Mb/s برای اجرا و پخش بدون مشکل نیاز دارند.

در سناریوی شبیه‌سازی شده تخصیص منابع در دو سرویس 720P و 1080P به صورت محلی بوده و ارائه‌دهنده خدمت مورد نظر (SP) توانایی تأمین منابع برای ارائه سرویس به کاربر مورد نظر را دارد. همچنین با بهره‌گیری از DBNS هوشمند میان سه برش mMTC، uRLLC و eMBB تمایز قائل شده و پارامترهای ارائه‌دهنده توسط SP با توجه به کاربرد برش دارای ترتیب و اولویت متفاوتی هستند.

در شکل شماره ۷، نرخ گذردهی روش پیشنهادی در برش uRLLC به تصویر کشیده شده است. برش uRLLC مناسب برای سرویس‌هایی است که نیاز به تأخیر بسیار پایینی دارند. پارامتر QoS در این برش، دارای اولویت دوم در میان پنج پارامتر بوده و ضریب 4X را در تابع پیشنهاد SP داراست. در دو سرویس 720P و 1080P به دلیل تخصیص محلی منابع نرخ گذردهی در تمامی رویکردها برابر است. با افزایش درخواست‌های تخصیص منبع از سوی کاربران، SP محلی از ارائه نرخ بیت لازم برای اجرای سرویس‌های بعدی عاجز است. سرویس دنباله ویدیو با کیفیت 2K به 15 Mb/s نرخ بیت برای پخش و اجرا نیاز دارد. در تخصیص محلی توسط SP که در شکل ۷ با نمودار سبز رنگ مشخص شده است، SP توانایی تخصیص منابع را نداشته و نیاز به منابع جدید و تغییر SP است تا از کیفیت ارائه خدمت به کاربر کاسته نشود. رویکرد DBNS در سرویس 2K با تغییر SP می‌تواند نرخ بیت 15 Mb/s را تأمین کند. روش پیشنهادی با تغییر مناسب تر SP، با توجه به اولویت بالاتر پارامتر کیفیت ارائه خدمات (QoS) مطابق با جدول شماره ۴، توانسته است به نرخ گذردهی 16.8 Mb/s دست یابد. سرویس 4K برای پخش و اجرا نیاز به گذردهی با نرخ بیت 25 Mb/s دارد. روش پیشنهادی در برش uRLLC و سرویس 4K با توجه به بالا بودن اولویت انتخابی پارامتر QoS در فرآیند انتخاب SP جانشین (مطابق با جدول شماره ۴) توانسته است گذردهی با نرخ 27.3 Mb/s را برای شبکه ارائه دهد تا در صورت افزایش درخواست‌های کاربر برای تخصیص منابع بیشتر نیست بتواند پاسخگو بوده و کیفیت ارائه سرویس به کاربر افت نکند.



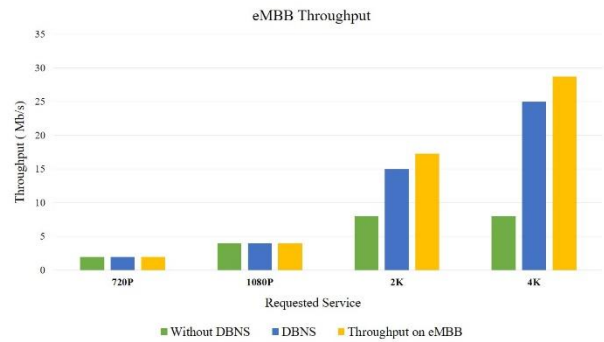
شکل ۷ - گذردهی روش پیشنهادی در برش uRLLC

شکل شماره ۸، گذردهی روش پیشنهادی را در برش mMTC به تصویر کشیده است. این برش که مخصوص ارتباطات در سطح گسترده همچون اینترنت اشیا است، در مقایسه با دو برش دیگر یعنی uRLLC و eMBB، مطابق با جدول شماره ۴، پارامتر QoS دارای اولویت پایین‌تری در بسته‌های پیشنهادی

شفافیت داده‌ای بر روی روند مناقصه‌ای انتخاب پیشنهاد برتر در میان ارائه‌دهندگان خدمت در محیط برش شبکه رخ داد. علیرغم تمامی پیچیدگی‌های ادغام و به‌کارگیری زنجیره بلوکی در شبکه‌های سلولی، این پلتفرم امنیتی، قابلیت و کاربردهای فراوانی چه در حوزه‌های امنیتی و چه در حوزه‌های ارتباطی موجود در شبکه‌های سلولی داشته و می‌تواند زمینه‌ساز مباحث و موضوعات بکر و نوین تحقیقاتی و علمی گردد. در پژوهش آینده نیز می‌توان با افزودن عامل هوشمند از طریق به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین درک ارائه‌دهنده خدمت از محیط برش شبکه را افزایش داد. همچنین با بررسی پارامترهای بیشتر بازدهی ارائه سرویس به کاربران را نیز بهبود بخشید.

مراجع

- [1] Afolabi, I., Taleb, T., Samdanis, K., Ksentini, A., & Flinck, H. (2018). Network slicing and softwarization: "A survey on principles, enabling technologies, and solutions." *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(3), 2429-2453.
- [2] Zhang, H., Liu, N., Chu, X., Long, K., Aghvami, A. H., & Leung, V. C. (2017). Network slicing based 5G and future mobile networks: "mobility, resource management, and challenges." *IEEE communications magazine*, 55(8), 138-145.
- [3] Ye, Qiang, and Weihua Zhuang. "Intelligent Resource Management for Network Slicing in 5G and Beyond."
- [4] Rommer, S., Hedman, P., Olsson, M., Frid, L., Sultana, S., & Mulligan, C. (2019). "5G Core Networks: Powering Digitalization. Academic Press."
- [5] S. Haber and W. S. Stornetta, "How to time-stamp a digital document," in *Conference on the Theory and Application of Cryptography*, 1990, pp. 437-455.
- [6] S. Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," *Manubot*, 2019.
- [7] Foukas, X., Patounas, G., Elmokashfi, A., & Marina, M. K. (2017). "Network slicing in 5G: Survey and challenges." *IEEE Communications Magazine*, 55(5), 94-100.
- [8] Togou, M. A., Bi, T., Dev, K., McDonnell, K., Milenovic, A., Tewari, H., & Muntean, G. M. (2020). DBNS: "A Distributed Blockchain-Enabled Network Slicing Framework for 5G Networks." *IEEE Communications Magazine*, 58(11), 90-96.
- [9] Morgan, J. P. (2016). "Quorum whitepaper." New York: JP Morgan Chase.
- [10] He, Guobiao, Wei Su, Shuai Gao, Ningchun Liu, and Sajal K. Das. "NetChain: A Blockchain-Enabled Privacy-Preserving Multi-Domain Network Slice Orchestration Architecture." *IEEE Transactions on Network and Service Management* 19, no. 1 (2021): 188-202.
- [11] Ssengonzi, C., Kogeda, O. P., & Olwal, T. O. (2022). A survey of deep reinforcement learning application in 5G and beyond network slicing and virtualization. *Array*, 100142.
- [12] M. R. Sama, X. An, Q. Wei, and S. Beker, "Reshaping the mobile core network via function decomposition and network slicing for the 5G Era," in *Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf.*, pp. 1-7, Apr. 2016.
- [13] Cunha, V. A., da Silva, E., de Carvalho, M. B., Corujo, D., Barraca, J. P., Gomes, D., ... & Aguiar, R. L. (2019). "Network slicing security: Challenges and directions." *Internet Technology Letters*, 2(5), e125.
- [14] Nour, B., Ksentini, A., Herbaut, N., Frangoudis, P. A., & Mounsla, H. (2019). "A blockchain-based network slice broker for 5G services." *IEEE Networking Letters*, 1(3), 99-102.
- [15] Backman, J., Yrjölä, S., Valtanen, K., & Mämmelä, O. (2017, November). "Blockchain network slice broker in 5G: Slice leasing in factory of the future use case." In *2017 Internet of Things Business Models, Users, and Networks* (pp. 1-8). IEEE.
- [16] Papageorgiou, A., Fernández-Fernández, A., Siddiqui, S., & Carrozzo, G. (2020). "On 5G network slice modelling: Service-, resource-, or deployment-driven?" *Computer Communications*, 149, 232-240.
- [17] Faisal, Tooba, Mischa Dohler, Simone Mangiante, and Diego R. Lopez. "BEAT: Blockchain-Enabled Accountable and Transparent Network Sharing in 6G." *IEEE Communications Magazine* 60, no. 4 (2022): 52-56.



شکل ۹ - گذردهی روش پیشنهادی در برش eMBB

۵- ارزیابی DBNS هوشمند

در DBNS هوشمند، دو هدف اصلی دنبال شد. هدف اول، ایجاد شفافیت داده‌ای در میان روند مناقصه‌ای انتخاب پیشنهاد برتر از میان پیشنهادات ارائه‌دهندگان خدمت در محیط برش شبکه بود. ایجاد بستری امن و عادلانه که در آن، ارائه‌دهندگان خدمت بتوانند پیشنهادات خود را با هدف تخصیص منبع برای کاربری که با مشکل کمبود منابع روبه‌رو شده است، یکی از خروجی‌های DBNS هوشمند است. در این رویکرد SP ها اطمینان دارند که در روند مناقصه‌ای انتخاب پیشنهاد برتر که با استفاده از زنجیره‌بلوکی و قرارداد هوشمند، شکل گرفت، تقلبی صورت نگرفته و انتخاب برنده مناقصه، کاملاً شفاف است. همان‌طور که در جدول ۶ مشخص ستون آبی رنگ خروجی مقاله مرجع در استفاده از رویکرد DBNS بوده و سه ستون بعدی مرتبط با روش پیشنهادی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین تأخیر در دو سرویس 720P و 1080P ثابت است چون شبکه توانایی پاسخ‌دهی به این دو خدمت را به‌صورت محلی دارد؛ اما در سرویس‌های 2K و 4K که تخصیص منابع دیگر نمی‌تواند به‌صورت محلی انجام پذیرد، به روشی دیگر روی می‌آوریم. در برش شبکه URLLC و سرویس 2K به میزان ۱۵ درصد و در سرویس 4K به میزان ۲۰ درصد میانگین تأخیر شبکه کاهش پیدا کرد. در برش شبکه eMBB و سرویس 2K به میزان ۴ درصد و در سرویس 4K به میزان ۱۰ درصد از میانگین تأخیر شبکه کاسته شد. در برش شبکه eMBB نیز مطابق با جدول ۶ میانگین تأخیر مقداری افزایش یافته است. در برش شبکه eMBB و در سرویس 2K، به میزان ۵ درصد و در سرویس 4K، به میزان ۱۵ درصد در قیاس با DBNS معمولی، میانگین تأخیر شبکه افزایش پیدا کرد. دلیل این امر نیز اولویت پایین‌تر پارامتر تأخیر در برش شبکه eMBB در فرآیند انتخاب پیشنهاد برتر است.

همچنین روش پیشنهادی توانسته است تا نرخ گذردهی را در برش‌های eMBB و uRLLC بهبود داده و در دو سرویس 2K و 4K عملکرد بهتری از خود در قیاس با رویکرد DBNS و تخصیص محلی منابع، ثبت کند. روش پیشنهادی در برش uRLLC و دو سرویس 2K و 4K در قیاس با رویکرد DBNS به بهبود ۱۱ و ۸ درصدی در تأمین نرخ بیت مورد نیاز کاربر دست یافته است. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در برش eMBB و دو سرویس 2K و 4K روش پیشنهادی توانسته است، نرخ گذردهی مورد نیاز کاربران را به میزان ۱۳ درصد در قیاس با رویکرد DBNS بهبود داده و ظرفیت ارائه منابع بیشتر در شبکه را افزایش دهد.

۶- نتیجه‌گیری

با استفاده از بستر زنجیره بلوکی و قرارداد هوشمند و انتخاب سه نوع برش شبکه مختلف توانستیم برای برش‌های شبکه‌های uRLLC و mMTC از میانگین تأخیر برای ارائه سرویس کاسته و بهبود طرح را نشان دهیم. این مهم هم‌زمان با ایجاد

- [۲۱] صبا اسعد؛ امیر مسعود ربیعی. "الگوریتم جدید انتخاب آنتن در سیستم‌های چندورودی-چندخروجی کلان". مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، ۵۰، ۳، ۱۳۹۹، ۱۰۰۳-۱۰۱۰.
- [۲۲] رضا هنرور؛ علیرضا ذوالقدر اصلی. "تحلیل ارزیابی کارایی الگوریتم‌های انتخاب شبکه در شبکه‌های بی‌سیم ناهمگن نسل پنجم". مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، ۵۰، ۲، ۱۳۹۹، ۹۶۳-۹۷۵.
- [23] Zeinali, V., & Khaleghi Bizaki, H. (2016). Shared secret key generation protocol in wireless networks based on the phase of MIMO fading channels. *Wireless Personal Communications*, 89, 1315-1334.
- [18] Ssengonzi, C., Kogeda, O. P., & Olwal, T. O. (2022). A survey of deep reinforcement learning application in 5G and beyond network slicing and virtualization. *Array*, 100142.
- [19] Hewa, Tharaka Mawanane, Ivana Kovacevic, Pawani Porambage, Nisita Weerasinghe, Madhusanka Liyanage, Erkki Harjula, and Mika Ylianttila. "Blockchain-based Network Slice Broker to Facilitate Factory-as-a-Service." *IEEE Transactions on Industrial Informatics* (2022).
- [20] He, Yunhua, Cui Zhang, Bin Wu, Yigang Yang, Ke Xiao, and Hong Li. "Cross-chain Trusted Service Quality Computing Scheme For Multi-chain Model-based 5G Network Slicing SLA." *IEEE Internet of Things Journal* (2021).