



Semnan University



Research Article

VNR_CCP: A New Approach to Congestion Control Using Virtualization Technique and Switch Migration in SDN

MohammadReza Jenabzadeh ^a, Vahid Ayatollahitafti ^{b,*}, MohammadReza Mollakhalili Maybodi^b, MohammadReza Mollahoseini Ardakani^b

^a Department of Computer Engineering, Maybod Branch, Islamic Azad University, Maybod, Iran

^b Department of Computer Engineering, Taft Branch, Islamic Azad University, Taft, Iran

PAPER INFO

Paper history:

Received: 28 October 2022

Revised: 08 September 2023

Accepted: 20 September 2023

Keywords:

SDN,
Congestion Control,
Load Balancing,
VNR,
OpenFlow.

ABSTRACT

By separating the data layer from the control layer in the software defined network and the possibility of centralized and programmable management, many limitations and common problems in traditional networks can be solved or improved. One of the existing problems in these networks is the issue of congestion and its control. In software defined networks, the use of information under the supervision of domain controllers and the collection of network statistics can be useful in controlling or preventing congestion. When an SDN switch node is subjected to many requests, the network becomes congested, and to solve this problem, the controller can use network virtualization and switch migration, taking into account the free resources available in the switches and links. In this paper, a software-based network approach for congestion control and optimal resource management called VNR_CCP is presented. In this approach, an attempt has been made to control congestion by calculating the nodes and links profit to search for congestion and request the virtual network to reduce the existing load and manage resources. The result of the simulation using the NS2 simulator shows that the proposed approach has better performance compared to the similar method. It was concluded that the throughput has increased by 4.3%, the delay has decreased by 5.3%, and the average cost has decreased by 26% compared to the similar method.

DOI: <https://doi.org/10.22075/jme.2023.28836.2357>

© 2024 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

* Corresponding author.

E-mail address: vahid.ayat@iau.ac.ir

How to cite this article:

Jenabzadeh, M. R., Ayatollahitafti, V., Mollakhalili, M. R., & Mollahoseini Ardakani, M. R. (2024). VNR_CCP: A new approach to congestion control using virtualization technique and switch migration in SDN. *Journal of Modeling in Engineering*, 22(76), 85-98. doi: 10.22075/jme.2023.28836.2357

VNR_CCP: یک راهکار جدید برای کنترل ازدحام با استفاده از تکنیک مجازی سازی و مهاجرت سوئیچ در شبکه‌های نرم‌افزار محور

محمدرضا جناب زاده^۱، وحید آیت‌اللهی تفتی^{۲*}، محمدرضا ملاخلیلی^۲، محمدرضا ملاحسینی^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۰۶	با جداسازی لایه داده از لایه کنترل در شبکه نرم‌افزار محور و امکان مدیریت متمرکز و قابل برنامه‌ریزی، می‌توان بسیاری از محدودیت‌ها و مشکلات رایج در شبکه‌های سنتی را مرتفع ساخته و یا بهبود بخشید. یکی از مشکلات موجود در این شبکه‌ها، مسئله ازدحام و کنترل آن است. در شبکه‌های نرم‌افزار محور، استفاده از اطلاعات تحت نظارت دامنه کنترل‌کننده‌ها و جمع‌آوری آمار شبکه می‌تواند کمک بزرگی در کنترل یا پیشگیری از ازدحام نمایند. یک گره سوئیچ شبکه‌های نرم‌افزار محور هنگامی که تحت درخواست‌های زیادی قرار می‌گیرد، شبکه را دچار ازدحام کرده و برای حل این مشکل کنترل‌کننده می‌تواند با در نظر گرفتن منابع آزاد موجود در سوئیچ‌ها و لینک‌ها، از مجازی‌سازی شبکه و مهاجرت سوئیچ‌ها به این فضا استفاده کند. در این مقاله یک رویکرد شبکه مبتنی بر نرم‌افزار برای کنترل ازدحام و مدیریت بهینه منابع بنام VNR_CCP ارائه شده است. در این رویکرد، با محاسبه سوددهی گره‌ها و لینک‌ها برای جستجوی ازدحام و درخواست شبکه مجازی برای کاهش بار موجود و مدیریت منابع، سعی در کنترل ازدحام شده است. نتایج شبیه‌سازی که با استفاده از شبیه‌ساز NS2 به دست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با روش مشابه کارایی بهتری دارد. به طوری که میزان گذردهی در حدود ۴/۳ درصد افزایش، تأخیر در حدود ۵/۳ درصد کاهش و میانگین هزینه نیز ۲۶ درصد کاهش نسبت به روش مشابه داشته است.
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۱۷	
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹	
واژگان کلیدی: شبکه نرم‌افزار محور، کنترل ازدحام، توازن بار، VNR، OpenFlow.	

DOI: <https://doi.org/10.22075/jme.2023.28836.2357>

© 2024 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

۱-مقدمه
دنیای امروز شاهد پیشرفت لحظه‌ای و تصاعدی تکنولوژی، به‌ویژه در زمینه‌ی ارتباطات و انتقال اطلاعات می‌باشد. اینترنت اشیا، شهر هوشمند و فضای مجازی اصطلاحاتی هستند و کمتر کسی در دنیای امروز می‌تواند یافت که با آن‌ها آشنایی نداشته باشد. انتقال امن و سریع این حجم روزافزون اطلاعات نیاز به یک زیرساخت ارتباطی پایدار و مطمئن را بیش‌ازپیش مشخص می‌سازد که در نتیجه نحوه

مدیریت و کنترل این زیرساخت و کنترل و برخورد مناسب با چالش‌های موجود در آن، یکی از زمینه‌های مورد توجه توسعه‌دهندگان و محققین این امر می‌باشد. شبکه‌های سنتی به‌عنوان زیرساخت انتقال اطلاعات، شامل پروتکل‌ها و قوانین پیچیده‌ای هستند که مهندسان شبکه علاوه بر تسلط بر پروتکل‌ها و قوانین باید با مدیریت تجهیزات برندهای خاص مورد استفاده در شبکه خود نیز آشنایی کامل داشته باشند. با توجه به نکات ذکر شده و

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: vahid.ayat@iau.ac.ir

۱. گروه کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد، میبد، ایران

۲. گروه کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تفت، تفت، ایران

استناد به این مقاله:

جناب زاده، محمدرضا، آیت‌اللهی تفتی، وحید، ملاخلیلی، محمد رضا، و ملاحسینی اردکانی، محمدرضا: VNR_CCP (1403). یک راهکار جدید برای کنترل ازدحام با استفاده از تکنیک مجازی سازی و مهاجرت سوئیچ در SDN. مدل سازی در مهندسی. ۲۲(۷۶). ۸۵-۹۸. doi: 10.22075/jme.2023.28836.2357

انعطاف‌پذیری در پردازش بسته‌های جریان، از مباحث مطروحه در بخش کارایی است و در مبحث مقیاس‌پذیری به سه موضوع تأخیر در تبادل اطلاعات، چگونگی ارتباط یک کنترل‌کننده با دیگر کنترل‌کننده‌ها و در نهایت اندازه و عملکرد کنترل‌کننده‌ها بیشتر توجه می‌شود. در حوزه امنیت به خطرات امنیتی که بیشتر ناشی از فقدان یکپارچگی با فناوری‌های امنیتی موجود است پرداخته می‌شود. اما به قابلیت اطمینان می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین چالش نگاه کرد که در آن مسئله توازن ۶-بار، ازدحام، محل قرارگیری کنترل‌کننده‌ها و بالاخره مهندسی ترافیک در کنترل‌کننده‌ها، اهمیت بسیاری دارد.

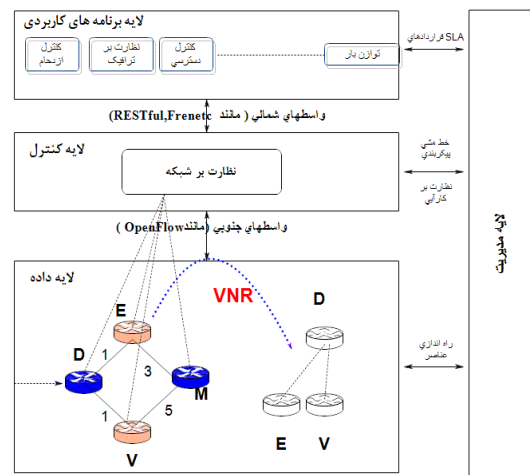
مهندسی ترافیک یکی از ویژگی‌های مهم در بحث مدیریت شبکه است که همواره مورد توجه مدیران و محققان این بخش بوده و با سیر تکاملی شبکه زمینه‌های تحقیقاتی جدیدی برای آن ایجاد شده است [۳].

مهندسی ترافیک در شبکه‌های نرم‌افزارمحور با توجه به قابلیت مدیریت و برنامه‌نویسی کنترل‌کننده، در لایه کنترل شبکه نرم‌افزارمحور اجرا می‌شود. هدف مهندسی ترافیک کمک به ارائه‌دهندگان خدمات اینترنت برای بهبود عملکرد شبکه و کنترل ترافیک و ازدحام در آن است [۴]. همان‌طور که در شکل (۲) نمایش داده شده به‌طور کلی می‌توان تکنیک‌های مدیریت ترافیک شبکه‌های نرم‌افزارمحور را در چهار دسته مجزا شامل مسیریابی، تعادل بار، کنترل ازدحام و کنترل جریان مورد بررسی قرار داد [۵].

به‌کارگیری راه‌حل‌های سنتی مهندسی ترافیک در شبکه‌های نرم‌افزارمحور که معمولاً با جمع‌آوری آمار شبکه، آنالیز آمارها و پیش‌بینی یا تشخیص ترافیک و سپس ارائه راهکارهایی مانند تغییر مسیرهای جریان‌ها سعی در دستیابی به عملکرد مطلوب و کاهش ازدحام را دارند، گرچه به‌طور موقت ممکن است عملکرد جریان‌ها را تحت تأثیر قرار دهند ولی در عمل می‌توانند بار زیادی بر کنترل‌کننده شبکه نرم‌افزارمحور برای محاسبه مسیرهای جدید متحمل شوند. از آنجاکه تغییر مسیرهای زیاد برای کاهش ازدحام می‌تواند اثرات منفی بر کیفیت سرویس داشته باشد، اپراتورهای شبکه تمایلی به استفاده از راهکارهای سنتی مهندسی ترافیک در شبکه‌های خود ندارند. بنابراین باید با طراحی راه‌حل‌های جدید با توجه به توانمندی‌های شبکه‌های نرم‌افزارمحور نسبت به بهبود عملکرد شبکه اقدام نمود.

پیچیدگی و پیشرفت و توسعه روزافزون برنامه‌های کاربردی در سطح اینترنت و شبکه، دیگر شبکه‌های سنتی قادر به پاسخگویی مناسب به چالش‌های پیش رو نمی‌باشند.

به همین منظور ایده شبکه‌های نرم‌افزارمحور به‌عنوان پدیده‌ای نوظهور در حوزه شبکه‌های مخابراتی و کامپیوتری باهدف رفع مشکلاتی نظیر مدیریت دشوار و پیچیده در شبکه‌های سنتی مبتنی بر پروتکل IP که شبکه رایج در ارتباطات امروزی است مطرح گردید [۱]. شبکه‌های نرم‌افزارمحور با تفکیک لایه داده از لایه کنترل و ارائه یک دید عمومی از شبکه به کنترل‌کننده در لایه کنترل بسیاری از محدودیت‌ها و مشکلات شبکه‌های سنتی را مرتفع می‌سازد [۲]. دید عمومی کنترل‌کننده از شبکه کمک شایانی است به مدیران تا با دریافت آمار از وضعیت تجهیزات شبکه تحت مدیریت خود و استفاده از راهکارها و برنامه‌های از پیش تعیین‌شده به رفع چالش‌هایی چون ترافیک و ازدحام و عدم توازن بار بپردازند.



شکل ۱: معماری پیشنهادی شبکه‌های نرم‌افزارمحور

به دلیل این ویژگی‌های شبکه‌های نرم‌افزارمحور شرکت‌هایی مانند Cisco، Juniper و Nokia از جمله شرکت‌هایی هستند که با سازگار کردن تولیدات خود با پروتکل‌های ارتباطی مانند OpenFlow به حوزه شبکه‌های نرم‌افزارمحور ورود پیدا کرده و از مزایای آن جهت پیشبرد اهداف خود استفاده می‌نمایند. و یا شرکتی مانند گوگل برای زیرساخت شبکه انتقال اطلاعات دیتاسنترهای خود از راهکار شبکه‌های نرم‌افزارمحور بهره برده است.

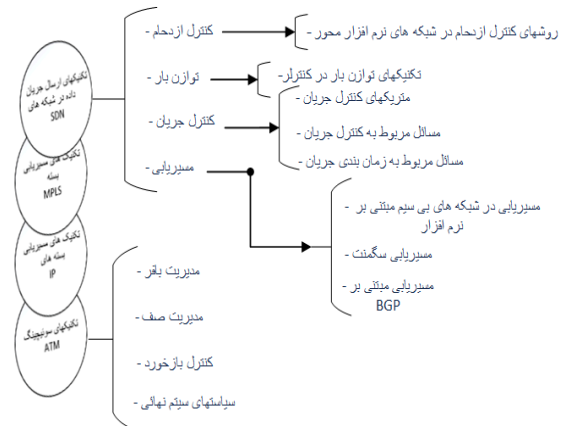
شبکه‌های نرم‌افزار محور نیز مانند شبکه‌های سنتی دارای چالش‌هایی است که می‌توان به کارایی، مقیاس‌پذیری، امنیت و قابلیت اطمینان اشاره نمود. قابلیت برنامه‌ریزی و

آمار بایت عبوری از تک تک درگاه های خود را به کنترل کننده می فرستند. سپس کنترل کننده مقدار دریافتی را از مقدار قبلی کم کرده و بر بازه زمانی مشخصی که طی آن درخواستها به صورت دوره ای ارسال می شوند، تقسیم می کند تا بدین صورت نرخ ترافیک هر لینک محاسبه گردد. حال اگر کارایی یکی از درگاه های سوئیچ بیشتر از حد آستانه مشخص شده بود، نیاز است تا سیاست های مربوطه برای جلوگیری از ازدحام به کار گرفته شود. منظور از حد آستانه مشخص شده، این است که عملکرد و کارایی سوئیچها اگر از یک حد مشخص شده بالاتر رود، کاهش می یابد و بازدهی شبکه در کل کاهش یافته و تأخیر در شبکه افزایش می یابد [۹].

در کار پیش رو با محاسبه میزان سوددهی و بررسی میزان مصرف منابع شبکه، مسیر دارای ازدحام را تشخیص داده و سپس با ارسال درخواست برای شبکه مجازی و به کارگیری الگوریتم پیشنهادی VNR_CCP، با استفاده از مجازی سازی و مهاجرت سوئیچ های منتخب به این فضا ازدحام را کنترل و شبکه را به حالت متوازن بازمی گردانند. یک محیط مجازی سازی شبکه متشکل از منابع مشترک و درخواست شبکه مجازی است. مجموعه ای از پیوندها، گره ها و درخواستها، شبکه مجازی را تشکیل می دهند. هر گره شبکه مجازی به یک مقدار ثابت از منابع گره ای (به عنوان مثال، منابع ذخیره سازی، CPU و حافظه) برای اجرای خدمات و برنامه های محاسباتی پیشرفته نیاز دارد و هر لینک شبکه مجازی که دو گره را به هم متصل می کند، به پهنای باند ارتباطی زیادی نیاز دارد تا داده ها و اطلاعات را بین گره های شبکه مجازی متصل تبادل کند [۱۰]. از نوآوری های این مقاله در مقایسه با سایر کارهای انجام شده می توان به موارد زیر اشاره نمود:

استفاده از روش مجازی سازی و مهاجرت سوئیچها در شبکه نرم افزار محور با هدف بهینه کردن مهندسی ترافیک در نظر گرفتن مجازی سازی در شبکه نرم افزار محور با برقراری بار کاری در شبکه استفاده از متد سوددهی و در نظر گرفتن مقدار بهینه لینک، نود و نگاشت مربوط به شبکه مجازی مناسب با هدف بهینه کردن مهندسی ترافیک

ساختار این مقاله به این صورت است که در مقدمه به تعاریف و تاریخچه شبکه های مبتنی بر نرم افزار و بیان مسئله پرداخته شد. در قسمت دوم به پیشینه نظری و



شکل ۲: سیر تکاملی تکنیک های مدیریت ترافیک از گذشته تا شبکه های نرم افزار محور

با توجه به چالش های فوق در روش پیشنهادی VNR_CCP با در نظر گرفتن منابع آزاد موجود در سوئیچها و لینکها و با محاسبه سوددهی آنها برای جستجوی ازدحام و درخواست شبکه مجازی برای کاهش بار موجود و مدیریت منابع، از مجازی سازی شبکه و مهاجرت دادن سوئیچها به این فضا استفاده کرده و سعی در کنترل ازدحام شده است.

هدف اصلی در این مقاله ارائه یک راهکار برای کاهش و رفع ازدحام در شبکه های نرم افزار محور است. ازدحام، یک وضعیت شبکه است که در آن میزان نیاز منابع مانند بافر، بیش از ظرفیت موجود باشد و این امر منجر به از دست رفتن بسته ها و در نتیجه ارسال مجدد بسته ها می شود [۶]. وقتی که ازدحام در یک شبکه کامپیوتری وجود داشته باشد، هم زمان افزایش تأخیر در صف، افزایش از دست دادن و گم شدن بسته ها و افزایش ارسال مجدد بسته ها رخ خواهد داد. کنترل ازدحام به تکنیک هایی گفته می شود که به وسیله آنها می توان قبل از وقوع ازدحام از آن پیشگیری کرد و یا پس از وقوع ازدحام، آن را از بین برد و شبکه را به حالت قبل از آن برگرداند [۷] و [۸].

به طور کلی در شبکه های نرم افزار محور برای جلوگیری از ازدحام دو مرحله را باید اجرا نمود:

- بررسی مداوم شبکه به منظور آگاهی از وضعیت تجهیزات موجود در شبکه.

- اجرای الگوریتم های مربوطه برای پیشگیری از ازدحام و یا بازگرداندن شبکه به حالت نرمال پس از وقوع ازدحام.

به منظور بررسی وضعیت شبکه، کنترل کننده در طی بازه های زمانی مشخص آمار همه درگاهها را از سوئیچ درخواست می کند. سوئیچها پس از دریافت هر درخواست،

در برخورد بین بسته‌ها در شبکه، عملکرد را بهبود می‌بخشد و بنابراین از بروز ازدحام جلوگیری می‌کند. پیاده‌سازی پروتکل LLDP در توپولوژی شبکه‌های نرم‌افزارمحور واقعاً درصد PDR (نسبت تحویل بسته) را افزایش می‌دهد و باعث افزایش توان عملیاتی خواهد شد. همچنین وانگ و همکاران [۱۵] با بیان مشکل سوئیچ‌های باقابلیت DCB که در آن‌ها هیچ صف جریانی پشتیبانی نمی‌شود، برنامه‌های کنترل ازدحام مبتنی بر نرخ و مبتنی بر اعتبار شبکه‌های نرم‌افزارمحور را برای غلبه بر این مشکل DCB طراحی کرده‌اند. در طرح مبتنی بر نرخ هر میزبان نهایی باید از نرخ انتقال اختصاص داده‌شده از کنترل‌کننده برای ارسال بسته‌ها استفاده کند و در طرح مبتنی بر اعتبار، پیش از ارسال داده‌ها، میزبان‌های نهایی باید اعتباراتی را از کنترل‌کننده دریافت کنند. با این طرح نشان داده‌اند که هیچ بسته‌ای به دلیل سرریز بافر از بین نخواهد رفت. در طرح کنترل ازدحام پیشنهادی شن و همکاران [۱۶] تخصیص ترافیک ابتدا به یک مسئله چندتکه‌ای تبدیل شده و سپس از الگوریتم ازدحام ماهی مصنوعی (AFSA) برای حل این مشکل استفاده می‌شود. تاجیکی و همکاران [۱۷] با ارائه روش فرا ابتکاری به نام CECT برخی مسیره‌های عملی را برای هر جریان از قبل محاسبه می‌کنند و به هر جریان یک مسیر تصادفی اختصاص می‌دهند. به این ترتیب، مجموعه‌ای از راه‌حل‌های مختلف ساخته می‌شود و هر راه‌حل بر اساس محدودیت‌های ذکرشده در بخش قبلی رتبه‌بندی می‌شود. سپس، CECT با استفاده از الگوریتم چرخ رولت برخی از راه‌حل‌ها را به عنوان اجداد نسل بعدی انتخاب می‌کند. جمعیت جدید با استفاده از کراس‌اوور یکنواخت و جهش چندنقطه‌ای بر روی این اجداد ایجاد می‌شود. این فرایند برای هر نسل اعمال می‌شود تا زمانی که راه‌حلی برای نقض هیچ محدودیتی پیدا شود یا آستانه از پیش تعیین‌شده تعداد تکرارها برآورده شود. در مقایسه با روش ECMP که به عنوان مقایسه در نظر گرفته شده CECT باعث می‌شود توان عملیاتی شبکه تا ۳ برابر بهبود یابد در حالی که افت بسته تا ۲ برابر کاهش می‌یابد. یک الگوریتم کنترل ازدحام هوشمند با پشتیبانی از معماری شبکه‌های نرم‌افزارمحور توسط ژائو و همکاران در [۱۸] معرفی شده است. این روش با استفاده از وضعیت بارگذاری پیوند جریان شبکه، از منطق فازی برای ارزیابی کیفیت ازدحام فوری مسیره‌های پشتیبان استفاده می‌کند. علاوه بر

بررسی کارهای مرتبطی که در زمینه‌ی توازن بار و ازدحام انجام شده، پرداخته شده است. بخش سوم جزئیات روش و الگوریتم پیشنهادی (VNR_CCP) را در برمی‌گیرد. بخش چهارم به پیاده‌سازی روش پیشنهادی و ارزیابی آن در مقایسه با روش‌های دیگر پرداخته خواهد شد و در نهایت بخش پنجم به نتیجه‌گیری اختصاص خواهد داشت.

۲- کارهای مرتبط

با گسترش شبکه نرم‌افزار محور، انجام کارهای تحقیقاتی بر روی چالش‌های موجود به یکی از علاقه‌مندی‌های محققان علوم کامپیوتر در سال‌های اخیر تبدیل شده است. یکی از مواردی که هم در شبکه‌های سنتی و هم در شبکه‌های نرم‌افزار محور از جمله چالش‌های اصلی می‌باشد. مسئله پیشگیری از ازدحام و یا کنترل آن است. از آنجاکه مباحثی نظیر توازن بار، کیفیت سرویس و مهندسی ترافیک نیز از جمله مواردی هستند که می‌توانند در پیشگیری و کنترل ازدحام مؤثر باشند، در بررسی کارهای انجام شده، از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه‌ها نیز استفاده شده است که در ادامه به بررسی برخی از این تحقیقات خواهیم پرداخت. سانگ و همکاران [۱۱] با اندازه‌گیری مصرف سوئیچ‌ها و قراردادن آستانه برای آن الگوریتمی ارائه کرده‌اند که در صورت عبور مصرف سوئیچ از این آستانه، کنترل‌کننده مسیر جدیدی را بدون استفاده از این سوئیچ تنظیم می‌کند. در [۱۲] ژو و همکاران یک راه‌حل چندپخشی قابل‌اعتماد، کارآمد، آگاه از ازدحام و قوی (MCTCP) را معرفی کرده‌اند. MCTCP می‌تواند پیوندهای متراکم و خراب را به صورت پویا دور زده و به کارایی و استحکام بالایی دست یابد. هو و همکاران [۱۳] با ارائه یک الگوریتم کنترل ازدحام SDCC در کنترل‌کننده اطلاعات درگاه هر سوئیچ را برای نظارت بر پیوندهای متراکم به دست می‌آورد. اگر ازدحام شبکه وجود داشته باشد، مکانیسم کنترل ازدحام شروع می‌شود، سپس یک یا چند جریان داده مناسب انتخاب می‌شوند و کوتاه‌ترین مسیر برای کنترل ازدحام محاسبه می‌شود. این فرآیند امکان استفاده کارآمد از منابع پهنای باند شبکه را فراهم می‌کند و استفاده از لینک را افزایش می‌دهد. با بیان اینکه یکی از مهم‌ترین مشکلات ازدحام در ترافیک شبکه کاهش کیفیت خدمات است. رحمان و همکاران [۱۴] به آنالیز کارایی مکانیزم‌های کنترل ازدحام پرداخته و با اجرای الگوریتم LLDP نشان داده که پروتکل LLDP با کاهش موفقیت

پیشنهاد می‌کنند. DWRS بارهای بی‌درنگ سرورها را جمع‌آوری می‌کند و وزن سرورها را به‌صورت پویا به‌روز می‌کند. سرور با بیشترین وزن بیشترین امکان انتخاب به‌عنوان سرور هدف را دارد، اما سایر سرورها هنوز فرصت سرویس‌دهی به درخواست‌ها را دارند. این از عدم توازن بار ناشی از تنظیمات نامناسب وزن جلوگیری می‌کند. ژانگ و همکاران [۲۲] نیز یک طرح مبتنی بر یادگیری تقویتی (CFR-RL) را تشریح می‌کنند که سیاستی را برای انتخاب جریان‌های مهم برای هر ماتریس ترافیک داده‌شده به‌طور خودکار می‌آموزد. سپس CFR-RL با تنظیم و حل یک مسئله ساده برنامه‌نویسی خطی (LP)، این جریان‌های حیاتی منتخب را تغییر مسیر می‌دهد تا استفاده از پیوند شبکه را متعادل کند. ارزیابی‌های گسترده نشان می‌دهد که CFR-RL با تغییر مسیر تنها ۱۰٪ تا ۲۱.۳٪ از کل ترافیک، عملکرد تقریباً بهینه را به دست می‌آورد.

این، از الگوریتم تغییر مسیر مبتنی بر یادگیری تقویتی برای ارزیابی بازده احتمالی آینده تصمیم‌گیری در مورد تغییر مسیر و انتخاب مسیر بهینه حمل‌ونقل استفاده می‌شود که نیاز بار ترافیکی برای انتقال جریان را برآورده می‌کند. لی و همکاران [۱۹] در مقاله خود یک مدل کنترل ازدحام بر اساس یادگیری تقویتی عمیق (DRL) چندوظیفه‌ای پیشنهاد کرده‌اند. این مدل سیاست کنترل ازدحام و سیاست توازن بار را به‌طور مشترک یاد می‌گیرد و آنچه برای توازن بار یاد گرفته می‌شود می‌تواند به یادگیری بهتر استراتژی کنترل ازدحام کمک کند. چن و همکاران [۲۰] با استفاده از تکنیک فعال‌سازی توازن بار آگاه از ترافیک (TALB) برای شبکه‌های ماشین به ماشین (M2M) با بهره‌گیری از ویژگی‌های شناسایی فوری ترافیک و تغییر مسیر پویا در شبکه‌های نرم‌افزارمحور تا ۵۰ درصد زمان پاسخ را کاهش داده‌اند و چیانگ و همکاران [۲۱] استراتژی انتخاب تصادفی وزن‌دار (DWRS) را

جدول ۱: مقایسه برخی از مطالعات و تحقیقات قبلی

نویسنده	پروتکل پیشنهادی	منطقه موردبررسی	محیط شبیه‌سازی و ارزیابی	نتایج
سانگ و همکاران [۱۱]	ارائه الگوریتم مسیریابی با آمارگیری از سوئیچ‌ها و ایجاد یک مسیر جدید با حذف سوئیچ شلوغ	IOT Switch	Wireshark Mininet ONOS	بهبود تأخیر و توان عملیاتی
ژو و همکاران [۱۲]	MCTCP یک راه‌حل چندپخشی قابل‌اعتماد، کارآمد، آگاه از ازدحام و قوی	Data Center Link	Mininet RYU	بهبود توان عملیاتی
هو و همکاران [۱۳]	الگوریتم کنترل ازدحام SDCC	IP Network Switch	Mininet POX	کاهش تلفات بسته و استفاده بهینه از لینک
رحمان و همکاران [۱۴]	LLDP پروتکل کشف لایه لینک	Switch	Mininet OpenDaylight	افزایش توان عملیاتی و افزایش درصد نسبت تحویل بسته
یوان و همکاران [۱۵]	برنامه‌های کنترل ازدحام مبتنی بر نرخ و مبتنی بر اعتبار	SAN Switch	Mininet Floodlight	کاهش تلفات بسته‌ها
شن و همکاران [۱۶]	یک طرح هدایت ترکیبی مسیریابی و همچنین یک الگوریتم کنترل ازدحام	Wan	VS2020 C/C++	کاهش احتمال وقوع ازدحام و افزایش توان عملیاتی شبکه
تاجیکی و همکاران [۱۷]	CECT	Cloud Data Center	Mininet POX Wireshark	افزایش توان عملیاتی شبکه و کاهش از بین رفتن بسته‌ها
ژاو و همکاران [۱۸]	الگوریتم کنترل ازدحام هوشمند با پشتیبانی از معماری SDN	Link	Mininet Floodlight	در کاهش ازدحام شبکه و افزایش توان عملیاتی شبکه
لی و همکاران [۱۹]	یک مدل کنترل ازدحام بر اساس DRL چندوظیفه‌ای	Link Switch	Mininet	کاهش RTT و بهبود کنترل ازدحام

هدایت نمود. مدیران شبکه اقدامات پیشگیرانه‌ای را برای حل‌وفصل انجام می‌دهند [۲۱]. طراحی و اجرای یک راه‌حل نظارت بر ترافیک (تراکم، شلوغی) در زمان واقعی به دلیل نیاز به پردازش زیاد با چالش‌های زیادی روبرو است. جمع‌آوری داده‌ها جهت پایش شبکه در زمان واقعی برای پیوندها، سوئیچ‌ها و مسیرها با تأخیر مواجه است. راه‌حلی که نمی‌توانند محدودیت‌های زمان واقعی را برآورده کنند. فرآیند تجمیع با ذخیره‌سازی داده‌ها به صورت فراپخش جریانی شروع می‌شود (شکل ۳). در [۲۶] از روش سلسله‌مراتبی برای سوئیچ‌های موجود در شبکه که داده‌های برخط حجیم را پایش می‌کنند استفاده شده است. داده‌های موجود برای ارسال ابتدا در محلی ذخیره می‌شوند و سپس عمل ارسال انجام می‌شود. همان‌طور که اشاره شد راهکارهای متفاوتی برای کنترل و یا اجتناب از ازدحام پیشنهاد و ارائه شده است ولی هیچ‌یک از آنها از روش مجازی‌سازی و مهاجرت سوئیچ استفاده نکرده‌اند. البته لازم به ذکر است برخی تحقیقات در زمینه‌ی مجازی‌سازی به‌عنوان مثال برای مدیریت منابع صورت گرفته است [۲۷]

۳-۱- شمای کلی از روش پیشنهادی (VNR-CCP)

یک گره سوئیچ شبکه نرم‌افزارمحور هنگامی که تحت درخواست‌های زیادی به‌صورت VNR قرار می‌گیرد، (درخواست شبکه مجازی) توازن بار روی آن دچار اختلال شده و در صورتی که بخواهد به شرایط مطلوب بپیوندد می‌تواند از مجازی‌سازی و مهاجرت استفاده کند. بنابراین یک بسته درخواست مسیر را می‌سازد. بسته درخواست مسیر با استفاده از فراپخش صورت می‌پذیرد (به گره‌های همسایه). با استفاده از جدول داده اطلاعات فراپخش شده هر گره در جدول به‌روزرسانی گره‌های دیگر قرار گرفته می‌شود. سپس به بررسی محاسبه سوددهی برای جستجوی ازدحام و در مرحله بعد از روش وزن‌دهی مناسب برای بهینه شدن کیفیت سرویس استفاده می‌شود (شکل ۴).

۳-۲- نظریه کنترل ازدحام و سوددهی

نظریه کنترل ازدحام برای توصیف چگونگی تعامل لینک‌ها در سطح شبکه استفاده می‌شود. در رابطه زیر تخصیص بهینه ارائه شده است. x_i میزان جریان باشد i و C_i ظرفیت پیوند i ، و r_i برای جریان ۱ در نظر گرفته می‌شود. i از پیوند لینک استفاده می‌کند و در صورت نبود

سود و همکاران در [۲۳] یک الگوریتم زمان‌بندی ترافیک جدید را برای جلوگیری از ازدحام در صفحه کنترل پیشنهاد می‌کنند. بسته‌های دریافت‌شده از دستگاه‌های مختلف با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده شبکه‌های عصبی دوگانه (DSNN) و پیاده‌سازی آن بر روی یک تابع شبکه مجازی^۱ به دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند و معیارهای مختلفی را برای ارزیابی اثربخشی طبقه‌بندی‌کننده پیشنهادی اتخاذ کرده است.

در [۲۴] باردواج و همکاران به بررسی ترافیک شبکه در مقام مقایسه شبکه سنتی و شبکه نرم‌افزارمحور پرداخته و با استفاده از تجزیه و تحلیل ترافیک بلادرنگ در شبکه نرم‌افزار محور، مسیرهای مسیریابی را به صورت پویا تنظیم نموده‌اند.

داسیلوا و همکاران در [۲۵] با آزمایش بر روی داده‌های یک مرکز داده به مقایسه الگوریتم‌های کنترل تراکم شبکه سنتی و شبکه نرم‌افزارمحور پرداخته و کارآیی مکانیسم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده مبتنی بر شبکه نرم‌افزارمحور را نسبت به الگوریتم‌های کنترل ازدحام سنتی در شناسایی رویدادهای ازدحام نشان داده است.

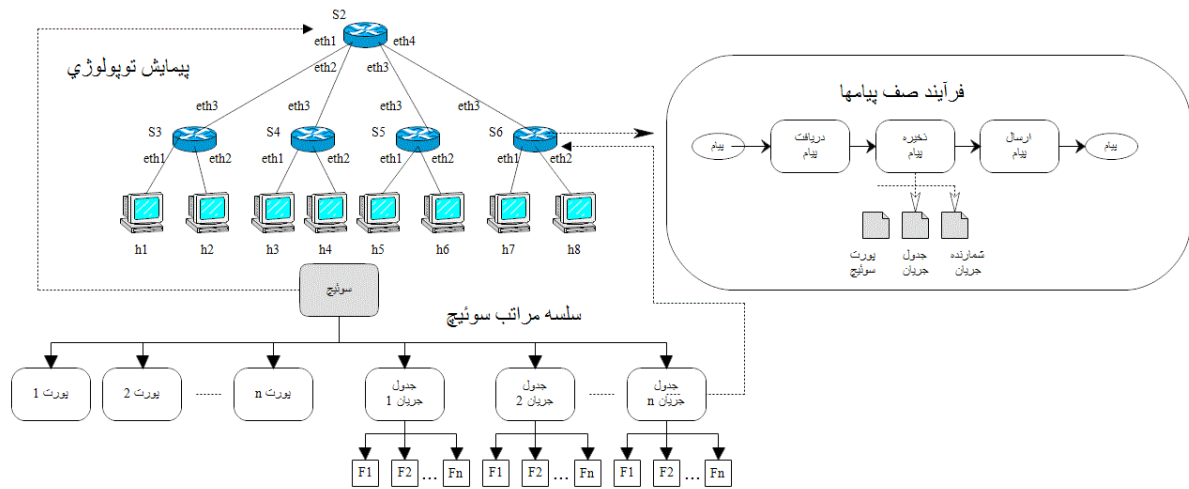
همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود تقریباً در تمامی مطالعات قبلی انجام‌شده به‌وسیله الگوریتم‌های متفاوت مسیریابی سعی شده تا قبل و یا هنگام وقوع ازدحام، با تغییر مسیر و ایجاد یک مسیر جدید از وقوع ازدحام جلوگیری و یا آن را کنترل نمایند و هیچ‌یک از آنها سعی در استفاده بهینه از منابع و ایجاد یک شبکه مجازی با استفاده از منابع آزاد موجود جهت حل این مشکل ننموده‌اند.

۳-۳- روش پیشنهادی

یک گره سوئیچ شبکه نرم‌افزارمحور هنگامی که تحت درخواست‌های زیادی قرار می‌گیرد، دچار ازدحام شده و در صورتی که بخواهیم شبکه را به یک شرایط مطلوب برسانیم باید از راهکارهایی برای کاهش بار اضافی استفاده کنیم. در شبکه‌های نرم‌افزارمحور با توجه به جداسازی لایه کنترل از لایه داده می‌توان با اعمال سیاست‌های دلخواه در کنترل‌کننده که به کمک آمارهای لحظه‌ای شمارنده‌های موجود می‌تواند به‌طور مداوم رفتار شبکه تحت نظارت خود را کنترل کند، شبکه را به سمت برقراری حالت مطلوب

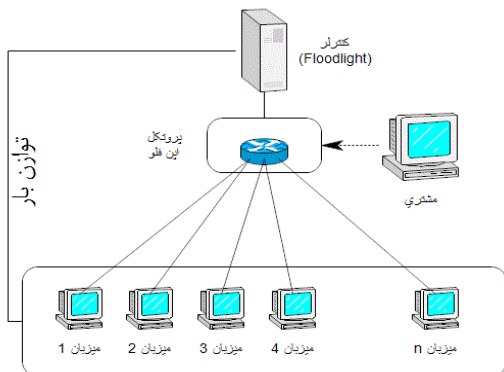
^۱ Virtual Network Function (VNF)

لینک ۰ در نظر گرفته می‌شود. x, C, i ماتریس‌های مربوطه می‌باشند و $U(x)$ یک عملکرد افزایش‌یافته است که میزان انتقال سود به شبکه را با ارسال داده‌ها اندازه‌گیری می‌کند.

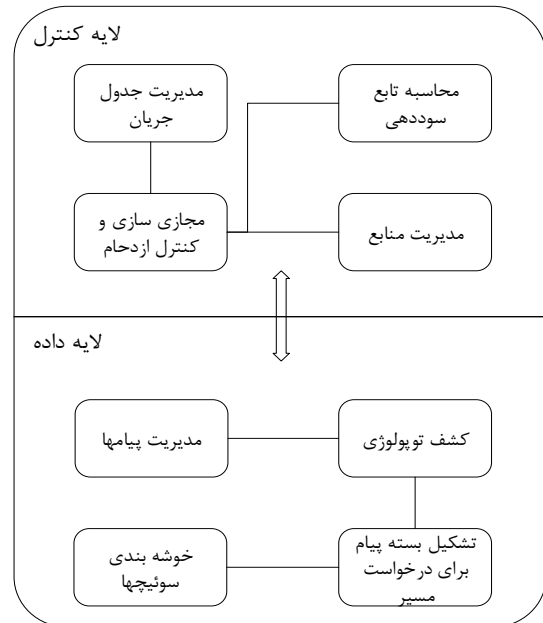


شکل ۳: عمل ارسال بسته به همراه ذخیره‌سازی اطلاعات در شبکه‌های نرم‌افزارمحور.

بهینه‌سازی توزیع شده تبدیل می‌شود. P_l احتمال از دست دادن یا تأخیر صف در پیوند l است. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود؛ سوئیچ‌های پخش شده در حال ارسال اطلاعات هستند. با بررسی ازدحام می‌توان خوشه‌بندی مربوط به سوئیچ‌ها را انجام داد. با محاسبه سوددهی و بررسی همسایه‌های موجود در شبکه می‌توان مسیر مربوط به ازدحام را در نظر گرفت. این خوشه‌های تشکیل شده به صورت سلسله‌مراتبی ارسال اطلاعات را از A به B را انجام می‌دهند (شکل ۶). همان‌طور که در شکل نشان داده شده است؛ پس از بررسی سوددهی؛ گره M دارای بیشترین ازدحام می‌باشد، با رسم درخت و بسط دادن آن؛ مسیر بهینه داخلی بر اساس ۲ مسیر پیشنهاد می‌شود. در هر ۲ حالت به صورت بهینه از ازدحام دور می‌باشد. هزینه مربوط به مسیر DEFGL برابر ۱۱ و مسیر DV MPL برابر ۱۶ می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۵: ارسال اطلاعات بر اساس کاهش ازدحام



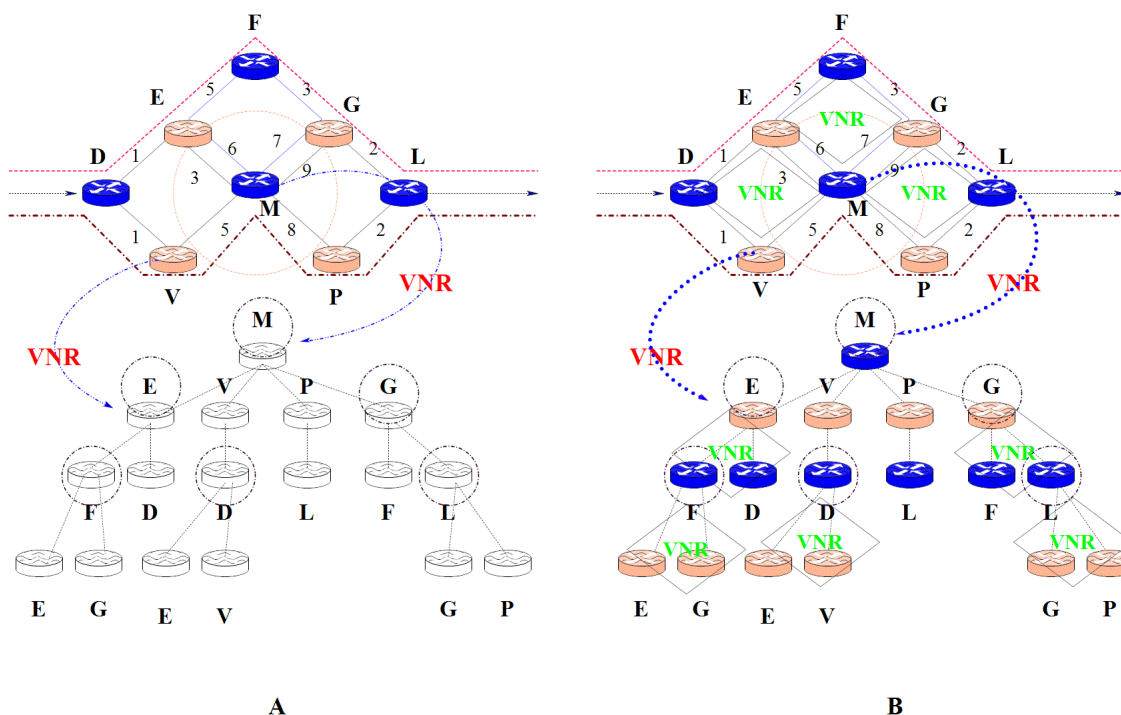
شکل ۴: چارچوب روش پیشنهادی (VNR-CCP)

$$profit = \max_x \sum_i Ux_i \quad R_x \leq c \quad (1)$$

با محاسبه (مینیمم) تابع با در نظر داشتن به محدودیت مسئله) به طوری که هر جریان داده‌های خود را، تنها در یک سوئیچ ارائه کرده باشد ظرفیت لینک بررسی می‌شود. هر ظرفیت پیوند محدودیتی ایجاد می‌کند، که باعث ایجاد یک ضریب لاگرانژ می‌شود، P_l مجموع این ضرایب می‌باشد.

$$Plink = y_i = \sum_l P_l r_l x_i \quad R_x \leq c \quad (2)$$

سپس کنترل ازدحام به یک مجموعه جمعیت اولیه برای



شکل ۶: سناریویی از ارسال بسته با قرار دادن VNR برای کاهش ازدحام

[۲۷]. در صورتی که بار شبکه زیاد باشد از مجازی‌سازی استفاده می‌شود و این عمل در کاهش بار و برقراری توازن بار کارا می‌باشد. در زمانی که نیاز باشد از درخواست شبکه مجازی استفاده شود ابتدا سوددهی مربوط به لینک و گره‌های زیرساخت بررسی می‌شوند و سپس برای هر لینک مجازی $L'U'V'$ پارامتر $R_{u'v'}$ بیان‌کننده‌ی میزان کل نگاهت لینک مجازی در نظر گرفته می‌شود. این نگاهت درخواست شبکه مجازی با برقراری حالت بهینه که توسط جریان‌های مجازی گذرنده از لینک مجازی و هم‌چنین مجموع کل منابع حافظه‌ی استفاده‌شده از سوئیچ‌های زیرساخت برای نوشتن آن قوانین جریان در جداول جریان موجود در سوئیچ‌ها می‌باشد تشکیل می‌گردد. معادله‌ی تعریف فوق به صورت زیر بیان می‌شود.

$$R_{u'v'} = \sum_{l_{uv} \in P_{l_{uv}v'}} (B_{u'v'}) * Profit \quad (3)$$

$$+ \sum_{u \in P_{l_{uv}v'}} (M_{u'v'}) * Plink$$

- میزان منابع تخصیص نیافته شبکه‌ی زیرساخت : برای هر لینک مجازی پارامتر $A_{u'v'}$ که بیان‌کننده‌ی میزان کل

۳-۳- استفاده از مجازی‌سازی و مهاجرت سوئیچ‌ها باهدف کاهش ازدحام

شبکه‌ی زیرساخت با قرارگیری درخواست شبکه مجازی و اعمال گراف‌های وزن‌دار بدون جهت مدل شده‌اند که به صورت $G(S, L)$ نشان داده می‌شود، درحالی که S مجموعه‌ی سوئیچ‌های زیرساخت و L مجموعه‌ی لینک‌های زیرساخت را نشان می‌دهد. هر لینک زیرساخت l_{uv} یک لینک عضو مجموعه S می‌باشد که سوئیچ‌های زیرساخت u و v را به هم متصل می‌کند و دارای پهنای باند B_{uv} خواهد بود. ظرفیت هر سوئیچ زیرساختی مانند u هم که عضو مجموعه سوئیچ‌های S می‌باشد با M_u نشان داده می‌شود. به طور مشابه، در شبکه‌ی مجازی تشکیل شده هم $G'(S', L')$ توپولوژی شبکه‌ی مجازی را نشان می‌دهد که S' مجموعه‌ی سوئیچ‌های مجازی و L' مجموعه‌ی لینک‌های مجازی را نشان می‌دهد. هر لینک مجازی $L'U'V'$ یک لینک عضو مجموعه S' می‌باشد که سوئیچ‌های زیرساخت U و V' را به هم متصل می‌کند و دارای پهنای باند $B'_{U'V'}$ خواهد بود. ظرفیت هر سوئیچ زیرساختی مانند U هم که عضو مجموعه سوئیچ‌های S' می‌باشد با $M'U$ نشان داده می‌شود. $P_{U'V'}$ هم مسیر زیرساختی است که هر لینک مجازی به آن نگاهت می‌شود

و (۵) محاسبه منابع تخصیص داده‌شده، منابع آزاد و وزن اختصاص داده‌شده به هر لینک صورت می‌گیرد. سپس بهترین پاسخ برای کاهش توازن بار با در نظر گرفتن بازنگاشت انتخاب می‌شود و با بررسی ازدحام، کیفیت سرویس، تأخیر و توان عملیاتی، الگوریتم پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

Algorithm1 : Congestion Control

Input: Network Topology

Output: Updated Network Graph

Begin

1. While (true)
2. Create network graph using network topology
3. If (received a request for a VNR) then
4. Create a packet for path request
5. Calculate $R_{u'v'}$ using (3)
6. Calculate $A_{u'v'}$ using (4)
7. Calculate $W_{u'v'}$ using (5)
8. Check load balancing
9. Select resources and switches to create VNR
10. Create VNR and solve the congestion problem
11. Update Network Graph
12. Else
13. Update network Graph
14. End while

End

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی

۴-۱- پیاده‌سازی

در این تحقیق برای شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی از NS2 نسخه ۲.۳۵ و کنترل‌کننده Floodlight که با افزودن ماژول ¹HyGenICC به NS2 استفاده از کتابخانه‌های شبکه‌های نرم‌افزارمحور و شبیه‌ساز Mininet را امکان‌پذیر می‌سازد استفاده شده است. سرعت لینک بین تمام سوئیچ‌ها 1.52 GB/S (SoL) در نظر گرفته شده و mRTT (حد اقل زمان رفت و برگشت) در زمان اعمال پروتکل TCP روی شبکه برابر ۱۰۰ میلی‌ثانیه می‌باشد. تعداد بسته‌های ارسال شده ۱۰۰ عدد در نظر گرفته شده و PLS² بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ بایت متغیر است.

نگاشت گره‌های شبکه مجازی توسط یک رویکرد حریم‌ناهیانه و MVL در زیرساخت Links Multi Commodity Flow و بدون تقسیم مسیر پیوند پیاده‌سازی شده است. تعداد سوئیچ‌های شبکه نرم‌افزارمحور به‌طور پیش‌فرض ۱۴ عدد و زمان شبیه‌سازی نیز ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. ظرفیت حافظه سوئیچ‌ها و پهنای باند اختصاص داده‌شده به لینک‌ها به‌طور مساوی بین ۱۰۰ و ۲۵۰ واحد

منابع لینک و سوئیچ تخصیص نیافته در شبکه‌ی زیرساخت است، محاسبه‌شده تا با توجه به آن برای نگاشت‌های آتی، منابعی انتخاب شوند که بار کمتری دارند. این پارامتر از رابطه‌ی ذیل به‌دست‌آمده است.

$$A_{u'v'} = \sum_{l_{uv} \in P_{l_{u'v'}}} (B_{uv} - B_{u'v'}) \quad (4)$$

$$+ \sum_{u \in P_{l_{u'v'}}} (M_{uv} - M_{u'v'})$$

- وزن لینک‌های مجازی: با محاسبه‌ی پارامترهای بالا به‌راحتی می‌توان با کم کردن وزن کل منابع مصرفی از وزن کل منابع موجود، میزان بار را بر روی هر لینک مجازی محاسبه نمود که با پارامتر $W_{u'v'}$ نمایش داده‌شده است. سپس با مرتب کردن وزن محاسبه‌شده‌ی لینک‌های مجازی به‌صورت نزولی، لینک با وزن بیشتر را برای کاهش بار تحمیلی به شبکه‌ی زیرساخت، در اولویت بازنگاشت قرارداد. ضرب شدن عدد سود مربوط به لینک و گره در معادله‌های ۳ تا ۵ در نظر گرفته‌شده است.

$$W_{u'v'} = (R_{u'v'} * Profit) * Plink \quad (5)$$

$$- (A_{u'v'} * Profit) * Plink$$

جدول ۲: پارامترهای استفاده‌شده برای محاسبه وزن هر لینک مجازی

پارامترها	توضیحات
$R_{u'v'}$	میزان منابع لینک و سوئیچ استفاده‌شده در شبکه‌ی زیرساخت
$A_{u'v'}$	میزان کل منابع لینک و سوئیچ تخصیص نیافته در شبکه‌ی زیرساخت
$W_{u'v'}$	وزن اختصاص داده‌شده به هر لینک مجازی

با انجام عملیات فوق توازن بار بهینه‌شده و در نتیجه باعث کنترل ازدحام و کاهش تأخیر در ارسال بسته‌ها خواهد شد.

۴-۳- الگوریتم پیشنهادی

در روش پیشنهادی فرآیند کنترل ازدحام در یک شبکه مبتنی بر نرم‌افزار با استفاده از مجازی‌سازی و مهاجرت سوئیچ انجام می‌شود. در این مدل سوئیچ‌ها بررسی می‌شوند و ساختار درخت شکل می‌گیرد. درخواست شبکه مجازی را روی آن‌ها اعمال می‌کنیم. سوددهی مربوط به لینک‌ها و گره‌های زیرساخت محاسبه می‌شود. طبق روابط (۳) و (۴)

² Pay Load Size

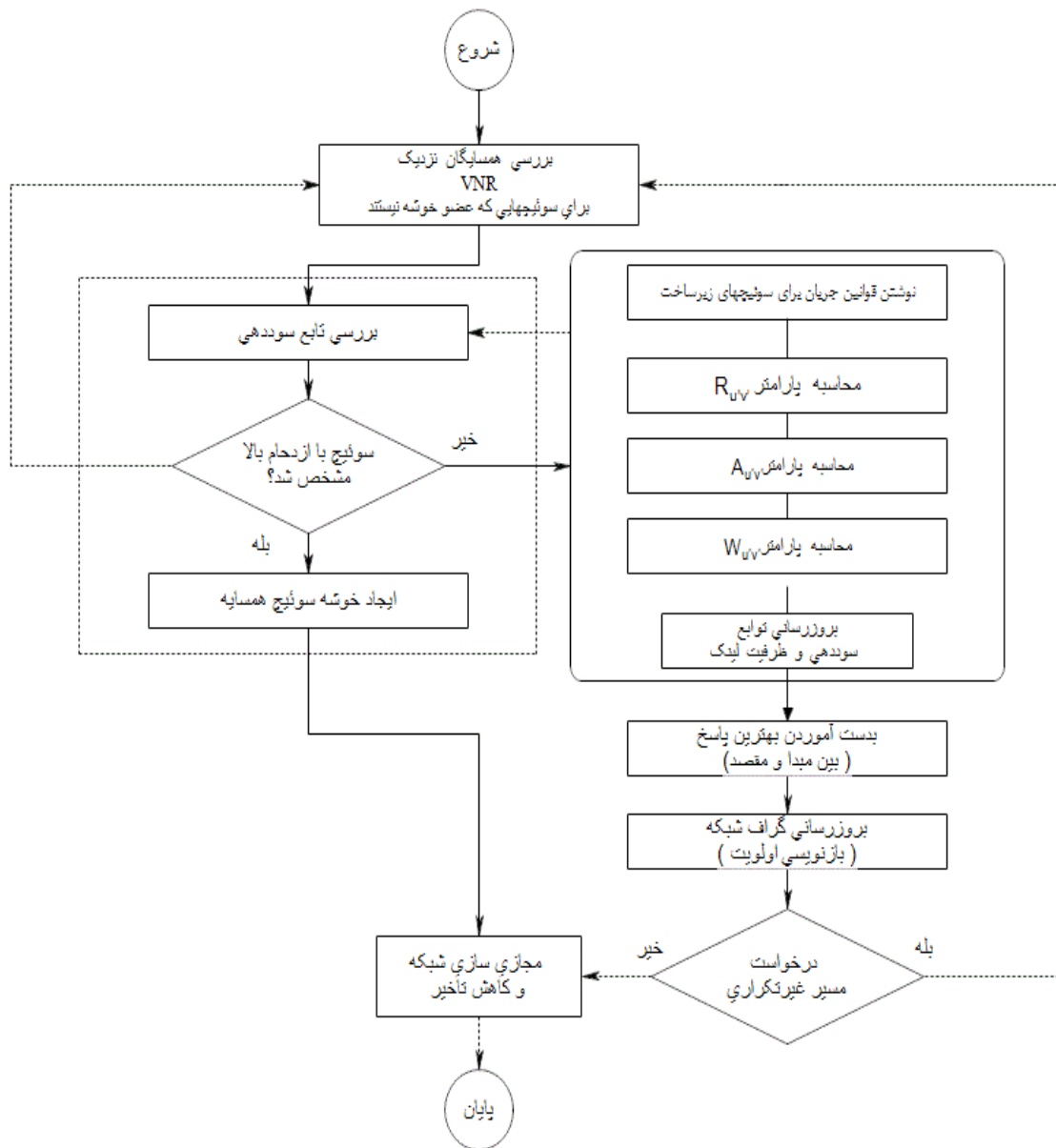
¹ Hypervisor-based Generic IP Congestion Control

مجازی در اینجا ۱۵۰۰ درخواست در نظر گرفته شده است.

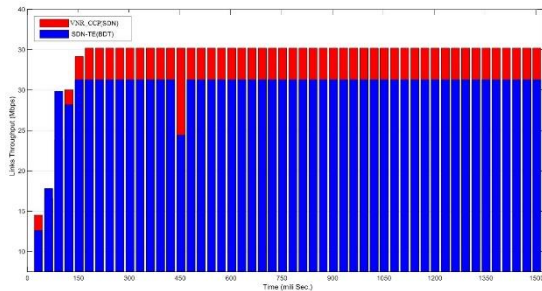
۴-۲- ارزیابی

نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی با روش مقاله [۲۶] (روش TE(BDT) که از روش سلسله‌مراتبی برای سوئیچ‌ها استفاده کرده و مشابه روش پیشنهادی می باشد مقایسه شده است. با توجه به آمار شمارنده‌های تعریف شده توسط پروتکل OpenFlow و شکستن داده‌های بزرگ به ریزداده‌ها برای مدیریت ترافیک و بهبود پارامترهای مؤثر در کنترل ترافیک، مقایسه روش پیشنهادی با روش مذکور انجام گرفته است.

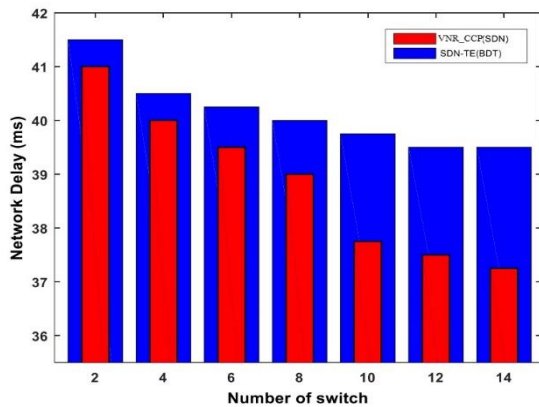
توزیع شده است. محاسبه پارامترهای لازم برای بررسی شرایط اولیه نگاشت درخواست شبکه مجازی روی شبکه باید صورت پذیرد تا چنانچه شرایط مهیا بود ساختار سوئیچ‌ها با درخواست شبکه مجازی جهت انجام مهاجرت ساخته شود. اولویت‌هایی برای درخواستهای شبکه مجازی در نظر گرفته شده و با ۱ تا ۵ نشان داده شده‌اند. در اولویت ۴ به بالا باید مهاجرت انجام شود یعنی حداقل باید اولویت ۴ را برای مهاجرت به دست آورند. برای این کار یک حالت انتظار داریم که صبر می‌کنیم تا ببینیم شرایط درخواست شبکه مجازی برای نگاشت وجود دارد یا نه بعد نگاشت را انجام می‌دهیم. همچنین حداکثر تعداد درخواست شبکه



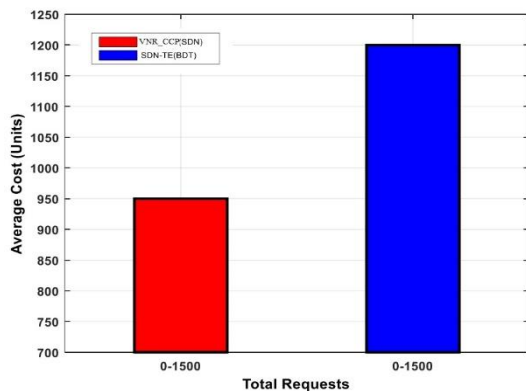
شکل ۷: فلوچارت پیشنهادی



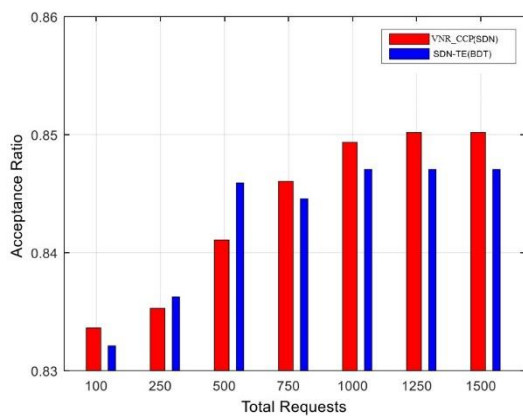
شکل ۸: ارزیابی درصد ازدحام در شبکه



شکل ۹: مقایسه توان عملیاتی لینک‌ها



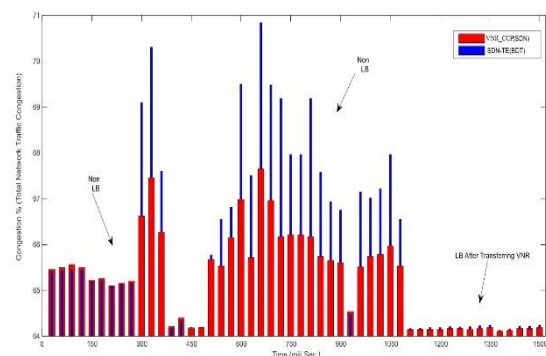
شکل ۱۰: نتایج ارزیابی تأخیر شبکه



شکل ۱۱: میانگین هزینه شبکه

شکل ۱۲: نتایج ارزیابی نرخ پذیرش

در شکل (۸) ازدحام به ازای گذر زمان بررسی شده است. با اعمال الگوریتم پیشنهادی و درخواست شبکه مجازی مناسب، روش ما ازدحام کمتری نسبت به مقاله پایه در زمانی که هنوز توازن بار برقرار نشده دارد و وقتی توازن بار برقرار شد هر دو روش تقریباً مشابه هم عمل می‌کنند و تفاوت در حد چند دهم درصد می‌باشد. در مقایسه توان عملیاتی لینک‌ها (میزان ارسال موفقیت‌آمیز بسته‌ها نسبت به زمان برحسب Bps) در شکل (۹) هر دو روش توان عملیاتی قابل قبولی دارند ولی روش پیشنهادی حدود ۴.۱۳٪ نسبت به مقاله پایه بهبود ایجاد کرده است. در زمان شروع و همچنین در زمان ۴۵۰ میلی‌ثانیه که اختلاف زیادی بین دو روش مشاهده می‌شود احتمالاً بر اثر همگام‌سازی‌ها می‌باشد تا اینکه به الگوریتم‌های پیشنهادی روش‌ها مربوط باشد. در مقایسه تأخیر شبکه با افزایش تعداد سوئیچ‌ها در هر دو روش تأخیر کمتر می‌شود که تأخیر مناسبی است ولی در روش پیشنهادی همان‌طور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود تأخیر کمتری وجود دارد. تأخیر موردنظر به‌طور میانگین محاسبه‌شده که هم مربوط به قبل از برقراری توازن بار است و هم بعد از برقراری توازن بار. میانگین هزینه شبکه بر اساس تعداد درخواست‌ها در روش پیشنهادی دارای بهبود قابل‌توجهی نسبت به روش TE(BDT) می‌باشد (شکل (۱۱)) که آن‌هم به دلیل انجام مهاجرت بهینه سوئیچ‌ها و استفاده مناسب از منابع است. در نهایت با مقایسه نرخ پذیرش درخواست‌ها در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود که تقریباً دو روش مشابه یکدیگر می‌باشد. درجایی که هنوز درخواست شبکه مجازی کاملاً شکل نگرفته مقاله پایه بهتر عمل میکند ولی زمانی که درخواست شبکه مجازی شکل گرفت و توازن بار برقرار شد، روش پیشنهادی عملکرد نسبتاً بهتری خواهد داشت.



شکل ۸: ارزیابی درصد ازدحام در شبکه

۵- نتیجه‌گیری

و با استفاده از تکنیک درخواست شبکه مجازی و مهاجرت سوئیچ‌ها به مسئله کنترل ازدحام در شبکه پرداخته و نتایج نشان‌دهنده کارایی روش پیشنهادی در کاهش ازدحام و بهبود پارامترهای مؤثر در کنترل ازدحام نظیر تأخیر و توان عملیاتی و میانگین هزینه‌های شبکه دارد. برای ادامه این تحقیق، نویسندگان قصد دارند با توسعه شبکه موردبررسی از شبکه‌ای با یک کنترل‌کننده به یک شبکه چند کنترل‌کننده به ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی خود در آن بپردازند.

جداسازی لایه کنترل از لایه داده در شبکه‌های نرم‌افزارمحور و اطلاع کنترل‌کننده از وضعیت شبکه تحت نظارت خود باعث شده تا بتوان با توسعه کنترل‌کننده و افزودن الگوریتم‌های موردنیاز به آن به مدیریت بهتر شبکه و جلوگیری از بروز مشکلاتی مانند ازدحام، تأخیر، به هدر رفتن منابع و غیره کمک کرد. در این مقاله با ارائه الگوریتمی برای محاسبه سوددهی لینک‌ها و گره‌های شبکه

مراجع

- [1] Parsaei, Mohammad Reza, Seyed Habib Khalilian, and Reza Javidan. "A comparative study on fault tolerance methods in IP networks versus software defined networks." *International Academic Journal of Science and Engineering* 3, no. 4 (2016): 146-154.
- [2] Rowshanrad, Shiva, Vajihe Abdi, and Manijeh Keshtgari. "Performance evaluation of SDN controllers: Floodlight and OpenDaylight." *IJUM Engineering Journal* 17, no. 2 (2016): 47-57.
- [3] Akyildiz, Ian F., Ahyoung Lee, Pu Wang, Min Luo, and Wu Chou. "A roadmap for traffic engineering in SDN-OpenFlow networks." *Computer Networks* 71 (2014): 1-30.
- [4] Guo, Zehua, Weikun Chen, Ya-Feng Liu, Yang Xu, and Zhi-Li Zhang. "Joint switch upgrade and controller deployment in hybrid software-defined networks." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 37, no. 5 (2019): 1012-1028.
- [5] Hodaie, Amin, and Shahram Babaie. "A survey on traffic management in software-defined networks: challenges, effective approaches, and potential measures." *Wireless Personal Communications* 118, no. 2 (2021): 1507-1534.
- [6] Chu, Cing-Yu, Kang Xi, Min Luo, and H. Jonathan Chao. "Congestion-aware single link failure recovery in hybrid SDN networks." In *2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, pp. 1086-1094. IEEE, 2015.
- [7] Kanagevlu, Renuga, and Khin Mi Mi Aung. "SDN controlled local re-routing to reduce congestion in cloud data center." In *2015 International Conference on Cloud Computing Research and Innovation (ICCCRI)*, pp. 80-88. IEEE, 2015.
- [8] Lu, Yifei, and Shuhong Zhu. "SDN-based TCP congestion control in data center networks." In *2015 IEEE 34th international performance computing and communications conference (IPCCC)*, pp. 1-7. IEEE, 2015.
- [9] Celenlioglu, Mahmud Rasih, Mohammed Alsadi, and Haci Ali Mantar. "Design, implementation and evaluation of SDN-based resource management model." In *2015 7th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, pp. 1-5. IEEE, 2015.
- [10] Zhang, San-mei, and Arun Kumar Sangaiah. "Reliable design for virtual network requests with location constraints in edge-of-things computing." *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* 2018 (2018): 1-10.
- [11] Song, Seungbeom, Jaiyong Lee, Kyuho Son, Hangyong Jung, and Jihoon Lee. "A congestion avoidance algorithm in SDN environment." In *2016 International Conference on Information Networking (ICOIN)*, pp. 420-423. IEEE, 2016.
- [12] Zhu, Tingwei, Dan Feng, Fang Wang, Yu Hua, Qingyu Shi, Yanwen Xie, and Yong Wan. "A congestion-aware and robust multicast protocol in SDN-based data center networks." *Journal of Network and Computer Applications* 95 (2017): 105-117.
- [13] Hu, Yao, Ting Peng, and Lianming Zhang. "Software-defined congestion control algorithm for IP networks." *Scientific Programming* 2017 (2017).
- [14] Rahman, M. Z. A., N. Yaakob, A. Amir, R. B. Ahmad, S. K. Yoon, and A. H. Abd Halim. "Performance analysis of congestion control mechanism in software defined network (sdn)." In *MATEC Web of Conferences*,

vol. 140, p. 01033. EDP Sciences, 2017.

[15] Wang, Shie-Yuan, Li-Min Chen, Shih-Kai Lin, and Liang-Chi Tseng. "Using SDN congestion controls to ensure zero packet loss in storage area networks." In *2017 IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM)*, pp. 490-496. IEEE, 2017.

[16] Shen, Dawei, Wei Yan, Yuhuai Peng, Yanhua Fu, and Qingxu Deng. "Congestion control and traffic scheduling for collaborative crowdsourcing in SDN enabled mobile wireless networks." *Wireless Communications and Mobile Computing* 2018 (2018): 1-11.

[17] Tajiki, Mohammad Mahdi, Behzad Akbari, Mohammad Shojafar, Seyed Hesomodding Ghasemi, Mahdi Latifi Barazandeh, Nader Mokari, Luca Chiaraviglio, and Michael Zink. "CECT: computationally efficient congestion-avoidance and traffic engineering in software-defined cloud data centers." *Cluster Computing* 21 (2018): 1881-1897.

[18] Zhao, Jihong, Mengfei Tong, Hua Qu, and Jianlong Zhao. "An intelligent congestion control method in software defined networks." In *2019 IEEE 11th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, pp. 51-56. IEEE, 2019.

[19] Lei, Kai, Yuzhi Liang, and Wei Li. "Congestion control in SDN-based networks via multi-task deep reinforcement learning." *IEEE Network* 34, no. 4 (2020): 28-34.

[20] Chen, Yu-Jia, Li-Chun Wang, Meng-Chieh Chen, Pin-Man Huang, and Pei-Jung Chung. "SDN-enabled traffic-aware load balancing for M2M networks." *IEEE Internet of Things Journal* 5, no. 3 (2018): 1797-1806.

[21] Chiang, Mei-Ling, Hui-Sheng Cheng, Hsien-Yi Liu, and Ching-Yi Chiang. "SDN-based server clusters with dynamic load balancing and performance improvement." *Cluster Computing* 24 (2021): 537-558.

[22] Zhang, Junjie, Minghao Ye, Zehua Guo, Chen-Yu Yen, and H. Jonathan Chao. "CFR-RL: Traffic engineering with reinforcement learning in SDN." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 38, no. 10 (2020): 2249-2259.

[23] Soud, Najwan Sattar, and Nadia Adnan Shiltagh Al-Jamali. "Intelligent Congestion Control of 5G Traffic in SDN using Dual-Spike Neural Network." *Journal of Engineering* 29, no. 1 (2023): 110-127.

[24] Bhardwaj, Shanu, and Ashish Girdhar. "Network Traffic Analysis in Software-Defined Networking Using RYU Controller." *Wireless Personal Communications* 132, no. 3 (2023): 1797-1818.

[25] da Silva de Oliveira, Filipe, Maurício Aronne Pillon, Charles Christian Miers, and Guilherme Piêgas Koslovski. "Identifying Network Congestion on SDN-Based Data Centers with Supervised Classification." In *International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pp. 222-234. Cham: Springer International Publishing, 2023.

[26] Queiroz, Wander, Miriam AM Capretz, and Mario Dantas. "An approach for SDN traffic monitoring based on big data techniques." *Journal of Network and Computer Applications* 131 (2019): 28-39.

[27] Javadpour, Amir. "Improving resources management in network virtualization by utilizing a software-based network." *Wireless Personal Communications* 106 (2019): 505-519.