

۱ مساله

در این رساله قصد داریم مسائل مرتبط با برآورده ساختن قرارداد لایه سرویس را مورد بحث قرار دهیم. این برآورده ساختن از سه مرحله:

1. Fulfillment
2. Monitoring
3. Assurance

تشکیل شده است. یکی از پارامترهای مهم در این برآورده سازی بحث کیفیت سرویس می باشد.

تاخیر یکی از پارامترهای مهم در بحث کیفیت سرویس می باشد. در شبکه های 5G به این موضوع پرداخته شد اما این پرداخت به اندازه ای نبود که بتواند این سرویس ها را به صورت عملیاتی پیاده سازی کند. بنابراین یکی از بحث های مهم در شبکه های 6G پرداختن به همین بحث تاخیر و سرویس های با تاخیر کم می باشد. مساله ی اول بحث کیفیت سرویس برای جایگذاری سرویس های قطعی در زیر ساخت مجازی سازی کارکردهای شبکه است و مساله ی دوم بحث بازجایگذاری سرویس ها بعد از مانیتور کردن آن ها در یک بازه زمانی مشخص است. در مساله ی دوم هدف بهبود جایگذاری صورت گرفته در مساله اول خواهد بود.

در مساله اول که بحث جایگذاری مطرح است نیاز داریم در ابتدا ساختار آنچه که می خواهیم جایگذاری کنیم را مشخص کنیم. این جایگذاری می تواند بر پایه SFC از استاندارد IETF یا VNF-FG از ETSI باشد. در مقالاتی مانند این سعی شده است ساختار SFC ها به گونه ای تغییر کند که توانایی در نظر گرفتن Load Balancing و چندین نمونه از یک سرویس را داشته باشد، بحثی مشابه با Partially and Totally ordered SFC که پیشتر در ارائه شفاهی دیده بودیم.

در بحث جایگذاری مورد مهم دیگر در رابطه با زیرساخت جایگذاری می باشد. زیرساخت می تواند برای سرویس های مختلف پارامترهای کیفیت سرویس گوناگونی ارائه دهد. به طور مثال می توان دو مرکز داده ای در نظر گرفت که در کنار جایگذاری نیاز به انتخاب مرکز داده ای نیز به وجود می آورد. در اینجا بحث کیفیت سرویس نیز مطرح است. برای بحث کیفیت سرویس نیاز داریم تاخیر سرویس ها را در قالب ریاضی فرمول بندی کنیم و از این رو بحث Network Calculus به ما برای بیان شرایط حدی کمک می کند. مقالات در این حوزه عموماً یک رابطه ساده برای منحنی سرویس و منحنی ورود سرویس ها، در نظر می گیرند و با مفهوم پیچش آن ها را به تمام سرویس تعمیم می دهند. مقالات کمی در حوزه بهره گیری از Network Calculus عمیق تر از این عمل کرده بودند که عمدتاً هم حوزه ی آن ها بحث های TE می باشد. در این مرحله می توان یک مساله ی بهینه سازی صحیح مطرح و از روش های گوناگون برای حل آن بهره برد. یکی از این روش ها استفاده از Quantum computing می باشد. در عین حال می شود از روش های یادگیری تقویتی هم بهره جست.

در مساله دوم قصد داریم سرویس های جایگذاری شده را بعد از یک بازه زمانی دوباره جایگذاری کنیم اما بحث اصلی در این رابطه استفاده از پیش بینی ترافیک لینک ها است. در واقع متقاضیان سرویس هرگز در رابطه با ترافیک دقیق سیستمشان اطلاعی ندارد. در پیش بینی ترافیک دو بحث معیار مطرح است یکی ساختار مکانی و دیگری زمان می باشد. برای

حل این مساله نیاز است این دو معیار توامان مدنظر قرار گرفته شوند و از این رو از بحث Spec-tral Graphs و ... استفاده می‌کنیم. در این مساله نیاز به بحث‌های یادگیری ماشین نیز وجود دارد. در واقع در این مساله سعی خواهیم با استفاده از یک سری زمانی از اطلاعات که از شبکه بدست آمده است حجم ترافیک لینک‌ها را پیش‌بینی کنیم. در صورتی که برای سرویس‌ها از VNF-FG استفاده کنیم در این مرحله کار سخت‌تری برای پیش‌بینی ترافیک خواهیم داشت.

۲ مقدمه

راه اندازی و استقرار سرویس در صنعت مخابرات به طور سنتی بر این اساس است که اپراتورهای شبکه سخت افزارهای اختصاصی فیزیکی و تجهیزات لازم برای هر کارکرد در سرویس را در زیرساخت خود مستقر کنند. فراهم کردن نیازمندی‌های مانند پایداری و کیفیت بالا منجر به اتکای فراهم کنندگان سرویس بر سخت افزارهای اختصاصی می‌شود. این درحالی است که نیازمندی کاربران به سرویس‌های متنوع و عموماً با عمر کوتاه و نرخ بالای ترافیک افزایش یافته است. بنابراین فراهم کنندگان سرویس‌ها باید مرتباً و به صورت پیوسته تجهیزات فیزیکی جدید را خریده، انبارداری کرده و مستقر کنند. تمام این عملیات باعث افزایش هزینه‌های فراهم کنندگان سرویس می‌شود[۱]. با افزایش تجهیزات، پیدا کردن فضای فیزیکی برای استقرار تجهیزات جدید به مرور دشوارتر می‌شود. علاوه بر این باید افزایش هزینه و تاخیر ناشی از آموزش کارکنان برای کار با تجهیزات جدید را نیز در نظر گرفت. بدتر این که هر چه نوآوری سرویس‌ها و فناوری شتاب بیشتری می‌گیرد، چرخه عمر سخت افزارها کوتاه‌تر می‌شود که مانع از ایجاد نوآوری در سرویس‌های شبکه می‌شود[۲].

در روش سنتی استقرار سرویس شبکه، ترافیک کاربر باید از تعدادی کارکرد شبکه به ترتیب معینی عبور کند تا یک مسیر پردازش ترافیک ایجاد شود. در حال حاضر این کارکردها به صورت سخت افزاری به یکدیگر متصل هستند و ترافیک با استفاده از جداول مسیریابی به سمت آن‌ها هدایت می‌شود. چالش اصلی این روش در این است که استقرار و تغییر ترتیب کارکردها دشوار است. به عنوان مثال، به مرور زمان با تغییر شرایط شبکه نیازمند تغییر همبندی و یا مکان کارکردها برای سرویس‌دهی بهتر به کاربران هستیم که نیاز به جا به جایی کارکردها و تغییر جداول مسیریابی دارد. در روش سنتی این کار سخت و هزینه‌بر است که ممکن است خطاهای بسیاری در آن رخ دهد. از جنبه دیگر، تغییر سریع سرویس‌های مورد نظر کاربران نیازمند تغییر سریع در ترتیب کارکردها است که در روش فعلی این تغییرات به سختی صورت می‌گیرد. بنابراین اپراتورهای شبکه نیاز به شبکه‌های قابل برنامه ریزی و ایجاد زنجیره سرویس کارکردها به صورت پویا پیدا کرده‌اند[۳]، [۴].

دو فناوری برای پاسخ گویی به این چالش‌ها مطرح شد: مجازی‌سازی کارکرد شبکه^۱ و زنجیره‌سازی کارکرد سرویس^۲. مجازی‌سازی کارکرد شبکه با استفاده از مجازی‌سازی کارکردهای شبکه و اجرای آن‌ها بر روی سرورهای استاندارد با توان بالا، امکان اجرای کارکردها بر روی سخت افزارهای عمومی را فراهم کرده است تا نیاز به تجهیزات سخت افزاری خاص منظوره کاهش یابد. از طرف دیگر زنجیره‌سازی کارکرد سرویس امکان تعریف زنجیره کارکردها را ارائه می‌کند که ایجاد و انتخاب مسیرهای متفاوت برای پردازش ترافیک به صورت پویا و بدون ایجاد تغییر در زیرساخت فیزیکی را امکان پذیر می‌کند. با توجه به این فناوری‌ها، مسائل تحقیقاتی جدیدی مطرح شدند که از مهم ترین آن‌ها می‌توان تخصیص منابع بهینه به سرویس درخواستی کاربر را نام برد.

¹Network Function Virtualization

²Service Function Chaining

از مهم ترین اهدافی که در حل مسائل تخصیص منابع می‌توان در نظر گرفت، بحث کیفیت سرویس است. کیفیت سرویس تاثیر مستقیمی بر رضایت کاربر از سرویس‌های یک مرکز داده داشته و از سوی دیگر نقص آن می‌تواند به قرارداد لایه سرویس آسیب زده و موجب جریمه مرکز داده‌ای شود.

تحقیقات متعددی در رابطه با تخصیص منابع در معماری مجازی سازی کارکرد شبکه انجام شده است. تعداد بسیار زیادی از این تحقیقات بحث کیفیت سرویس و یا تاخیر را مدنظر قرار داده‌اند. با این وجود تعداد بسیاری از این تحقیقات فرضیات محدود کننده‌ای مانند نگاشت تنها یک کارکرد به هر ماشین مجازی، ایجاد حداکثر یک نمونه از هر کارکرد، عدم به اشتراک گذاری کارکردها و ... این در حالی است که مراکز داده برای ارائه سرویس بهتر نیاز به استفاده از همه منابع خود داشته و در بسیاری از اوقات نیز نمی‌توان برای ترافیک موردنظر تنها از یک نمونه استفاده کرد. بنابراین در این رساله فرض شده است که می‌توان از یک کارکرد نمونه‌های مختلف ساخته و از یک ماشین مجازی برای نگاشت بیش از یک کارکرد استفاده نمود. همچنین در جهت کاهش هزینه‌های مرکز داده‌ای می‌توان از یک نمونه کارکرد برای سرویس‌دهی به چند زنجیره نیز استفاده کرد که در این رساله مدنظر قرار گرفته است.

در این رساله به تحقق و تضمین توافق‌نامه لایه سرویس، سرویس‌های درخواستی کاربران تمرکز می‌کنیم. سرویس درخواستی هر کاربر را به صورت مجموعه‌ای از کارکردها که توسط گراف SFC با یکدیگر ارتباط دارند در نظر می‌گیریم. برای استقرار سرویس باید مشخص شود که هر کارکرد باید بر روی چه سرورهایی در شبکه زیرساخت مستقر شود و پهنای باند لینک‌های زیرساخت چگونه به لینک‌های بین کارکردها اختصاص یابد. در این رساله صرفاً کارکردهای مجازی را در نظر می‌گیریم و فرض می‌کنیم که هر کارکرد توسط یک VNF که پیاده سازی نرم‌افزاری آن کارکرد است ارائه می‌شود. ما فرض می‌کنیم تعدادی درخواست سرویس توسط فراهم‌کننده زیرساخت دریافت شده است. تضمین توافق‌نامه لایه سرویس از سه گام تشکیل شده است: تحقق، تضمین و اثبات. برای هر یک از درخواست‌ها می‌بایست این مراحل طی شود تا توافق‌نامه لایه سرویس تضمین شود.

در این رساله ما مساله تحقق و تضمین توافق‌نامه لایه سرویس برای سرویس‌های درخواستی کاربر در مجازی‌سازی کارکردهای شبکه را در نظر گرفته و آن را در قالب سه زیر مساله مرتبط مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در مساله اول به بحث جایگذاری و تخصیص منابع به سرویس‌های درخواستی در جهت تحقق توافق‌نامه لایه سرویس می‌پردازیم. در این مساله بر خلاف مسائل موجود فرض می‌شود درخواست‌ها به صورت برخط در اختیار مرکز داده‌ای قرار گرفته و خروجی مساله اول پذیرش یا عدم پذیرش درخواست‌ها می‌باشد.

همواره در زیرساخت خطاهایی به وجود می‌آید که در نتیجه آن توافق‌نامه لایه سرویس به خطر می‌افتد. در مساله دوم با نظارت بر زیرساخت عملیات‌های لازم پیش و در هنگام وقوع خطا مشخص می‌شوند تا بتوان توافق‌نامه لایه سرویس را تضمین کرد.

در همه مسائل پیشنهادی نیاز به انتخاب و انجام تعدادی عملیات می‌باشد، بنابراین در حل همه این مسائل از چهارچوب یادگیری تقویتی عمیق^۳ استفاده می‌شود تا عامل بتواند

³Deep Reinforcement Learning

بهترین عمل را انتخاب و انجام دهد. با توجه به این موضوع که زیرساخت شبکه به شکل گراف می‌باشد در یادگیری تقویتی عمیق از شبکه‌های عصبی گرافی^۴ استفاده می‌شود تا عامل نسبت به شبکه‌های جدید کارایی بهتری داشته باشد.

به صورت خلاصه نوآوری‌های این رساله به شرح زیر می‌باشد:

- امکان به اشتراک‌گذاری کارکردها میان چندین زنجیره و در نظر گرفتن پارامترهای کیفیت سرویس برای تحقق تفاهم‌نامه لایه سرویس: در جهت مصرف بهینه منابع ممکن است یک کارکرد میان چندین زنجیره به اشتراک گذاشته شود که نیاز به در نظر گرفتن پارامترهای کیفیت سرویس را دارد چرا که می‌تواند آن‌ها را به مخاطره بیندازد.
- استفاده از چهارچوب یادگیری تقویتی عمیق بر پایه شبکه‌های عصبی گرافی که می‌تواند کارایی عامل نسبت به شبکه‌های جدید را افزایش دهد.
- در نظر گرفتن بحث‌های نظارتی در مجازی‌سازی کارکرد شبکه برای جلوگیری از خطا به صورت بلادرنگ: خطاهای بسیار در شبکه‌ها رخ می‌دهند که نیاز دارند به آن‌ها رسیدگی شود و در صورت نیاز حتی از آن‌ها پیشگیری شود. در این رساله این بحث به صورت بلادرنگ در نظر گرفته می‌شود و از سوی دیگر با پیش‌بینی پارامترها از خطاها پیشگیری نیز خواهد شد.

در نهایت ساختار رساله به شرحی است که در ادامه می‌آید. در فصل دوم معماری‌های NFV و SFC و اجزای آن‌ها را شرح می‌دهیم. در فصل سوم مسائل تحقیقاتی مطرح شده در این معماری‌ها را بررسی می‌کنیم و آن‌ها را از جنبه در نظر گرفتن انرژی با یکدیگر مقایسه می‌کنیم. در فصل چهارم مسائل پیشنهاد شده در رساله به صورت دقیق شرح داده می‌شوند. در نهایت در فصل پنجم به روش حل ارائه شده برای حل مسائل می‌پردازیم و فصل ششم به جمع بندی و ارائه زمان بندی انجام رساله اختصاص دارد.

۳ مفاهیم و معماری‌های مرتبط

⁴Graph Neural Network