



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

پروژه کارشناسی ارشد

شبکه‌های کامپیوتری

زنجیره‌سازی کارکردهای مجازی سرویس شبکه با لحاظ محدودیت
منابع مدیریتی

نگارش

پرهام الوانی

استاد راهنما

دکتر بهادر بخشی

تیر ۱۳۹۷

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سپاس‌گزاری

در اینجا لازم می‌دانم از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های اساتید عزیز و گرانقدرم جناب آقای دکتر بخشی و دکتر صبایی، صمیمانه قدردانی و سپاس‌گزاری نمایم.

پرهم الوانی
تیر ۱۳۹۷

چکیده

مسئله‌ی مجازی سازی توابع شبکه سعی دارد توابع شبکه را به صورت مجازی در شبکه جایگذاری نمایند و در ادامه با برقراری ارتباط میان آن‌ها سرویس‌هایی را فراهم آورد. یکی از مسائل در این روش پذیرش سرویس‌ها و قرار دادن آن‌ها بر روی زیرساخت است که در کارهایی زیادی به آن پرداخته شده است ولی یکی از اجزا معماری مجازی سازی کارکردهای شبکه بخش مدیریتی است که می‌بایست در کنار سرویس‌ها بر روی زیرساخت مستقر شود. در این رساله ما قصد داریم جایگذاری سرویس‌ها با لحاظ منابع مدیریتی را مدل‌سازی و حل نماییم.

واژه‌های کلیدی:

مجازی سازی کارکردهای شبکه، زنجیره‌سازی کارکردهای مجازی سرویس شبکه، بهینه‌سازی، بهینه‌سازی خطی صحیح

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱ مقدمه
۲	۱-۱ معماری NFV
۲	۱-۱-۱ زیرساخت مجازی سازی کارکردهای شبکه
۳	۲-۱-۱ کارکردهای مجازی شبکه
۳	۳-۱-۱ NFV MANO
۴	۲ کارهای مرتبط
۷	۳ تعریف مساله
۸	۱-۳ مساله
۹	۲-۳ فرمول بندی
۱۲	۴ راه حل پیشنهادی و ارزیابی
۱۳	۱-۴ راه حل پیشنهادی
۱۳	۲-۴ ارزیابی
۱۴	منابع و مراجع

فهرست اشکال

صفحه

شکل

۳ ۱-۱ معماری مجازی سازی کارکردهای شبکه
---	--

فهرست جداول

صفحه

جدول

۱-۲ مقایسه مقالات پذیرش زنجیره‌های کارکرد سرویس ۶

فصل اول

مقدمه

پیشتر در ارائه سرویس‌های شبکه، از سخت‌افزارهای اختصاصی که توسط سازندگان اختصاصی ارائه می‌شد و به آن‌ها middle box گفته می‌شد استفاده می‌گشت. تنوع و تعداد رو به افزایش سرویس‌های جدیدی که توسط کاربران تقاضا می‌گردد باعث هزینه‌های زیاد برای خرید و نگهداری middle boxها توسط اپراتورها شده است. به تازگی فراهم آوردن گان شبکه شروع به حرکت به سوی مجازی‌سازی و نرم‌افزاری کردن بسترهای شبکه کرده‌اند، به این ترتیب آن‌ها قادر خواهند بود سرویس‌های نوآورانه‌ای به کاربران ارائه بدهند. این روند به سرویس دهندگان اجازه می‌دهد که ارائه سرویس‌های دلخواه‌شان وابسته به سخت‌افزارهای اختصاصی نباشد و هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری فراهم آوردن گان سرویس را کاهش می‌دهد. با نرم‌افزاری‌سازی کارکردها، وابستگی آن‌ها به سخت‌افزار اختصاصی کاهش یافته و به سرعت می‌توان آن‌ها را افزایش/کاهش مقیاس داد. مجازی‌سازی کارکردهای شبکه و زنجیره‌سازی کارکرد سرویس راهکاری‌هایی هستند که برای همین منظور پیشنهاد شده‌اند.

ایده‌ی اصلی مجازی‌سازی توابع شبکه جداسازی تجهیزات فیزیکی شبکه از کارکردهایی می‌باشد که بر روی آن‌ها اجرا می‌شوند. به این معنی که یک کارکرد شبکه مانند دیوار آتش می‌تواند بر روی سرورهای HVS^۱ به عنوان یک نرم‌افزار ساده مستقر شود. با این روش یک سرویس می‌تواند با استفاده از کارکردهای مجازی شبکه‌ای که می‌توانند به صورت نرم‌افزاری پیاده‌سازی شده و روی یک یا تعداد سرور استاندارد فیزیکی اجرا شوند، استقرار یابد. کارکردهای مجازی شبکه‌ای می‌توانند در مکان‌های مختلف باز مکان‌یابی یا نمونه‌سازی شوند بدون آنکه نیاز به خریداری و نصب تجهیز جدیدی باشد. [۱۰]

در ادامه به معرفی معماری NFV پرداخته و به چالش‌هایی که در MANO وجود دارد می‌پردازیم. در فصل دوم کارهای مرتبط مرور می‌شوند و در فصل سوم مساله تعریف شده بیان می‌گردد. در فصل چهارم در مورد راه‌حل پیشنهادی برای مساله بحث خواهد شد.

۱-۱ معماری NFV

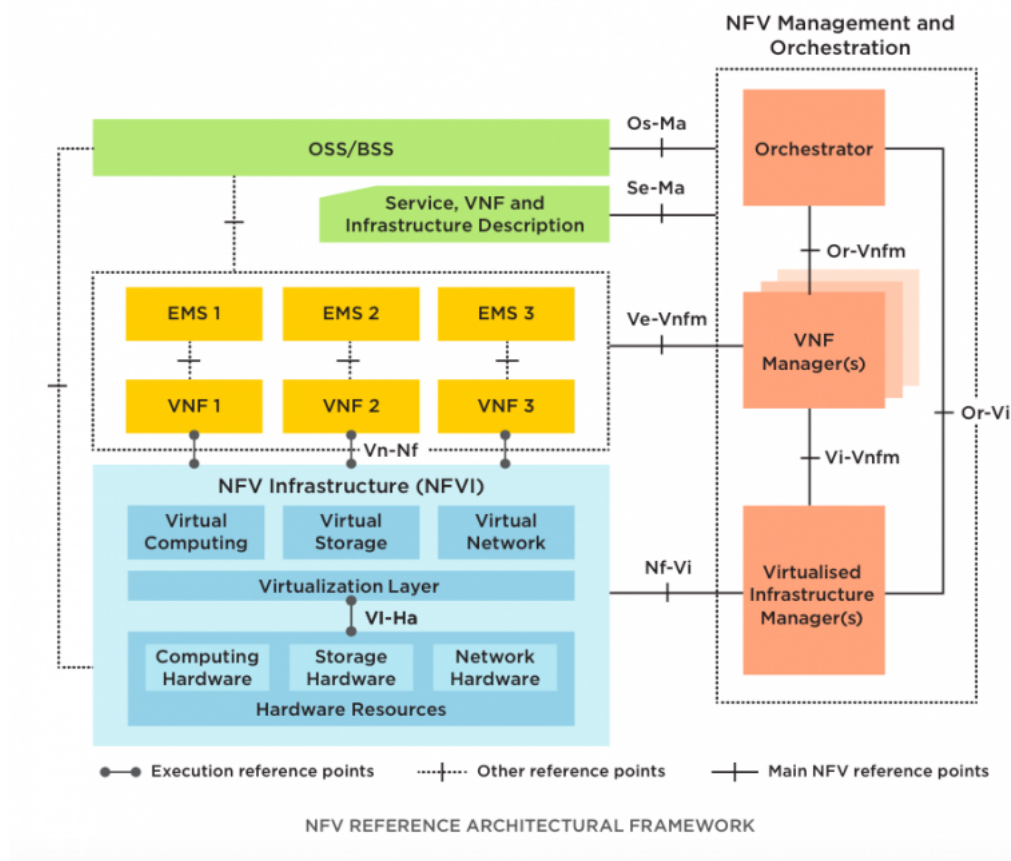
با توجه به استاندارد ETSI معماری NFV از سه عنصر کلیدی تشکیل شده است. زیرساخت مجازی‌سازی کارکردهای شبکه، کارکردهای مجازی شبکه‌ای و NFV MANO. این اجزا در شکل ۱-۱ نمایش داده شده‌اند.

۱-۱-۱ زیرساخت مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

زیرساخت مجازی‌سازی کارکردهای شبکه ترکیبی از منابع نرم‌افزاری و سخت‌افزاری است که محیطی برای نصب کارکردهای مجازی شبکه فراهم می‌آورد. منابع سخت‌افزاری شامل منابع محاسباتی، ذخیره‌سازها و شبکه (شامل لینک‌ها و گره‌ها) هستند که پردازش، ذخیره‌سازی و ارتباط را برای کارکردهای مجازی شبکه فراهم می‌آورند. منابع مجازی انتزاعی از منابع شبکه‌ای، پردازشی و ذخیره‌سازی هستند. به وسیله انتزاع از طریق لایه‌ی مجازی‌سازی (بر پایه‌ی hypervisor) منابع سخت‌افزاری در اختیار کارکردهای مجازی قرار می‌گیرند که این منابع شامل منابع محاسباتی، شبکه‌ای و ذخیره‌سازی می‌باشند.

در مراکز داده‌ای ممکن است منابع پردازشی و ذخیره‌سازی تحت عنوان یک یا چند ماشین مجازی نمایش داده شوند در حالی که شبکه‌های مجازی از لینک‌ها و گره‌های مجازی تشکیل می‌شوند. شبکه‌های مجازی پیش از بحث مجازی‌سازی کارکردهای شبکه مدنظر بوده‌اند و روی آن‌ها کار شده است. در واقع از شبکه‌های مجازی در مراکز داده‌ای جهت فراهم آوردن شبکه‌های مختلف و مجزا که به کاربران مختلفی تعلق دارند استفاده شده است. راه‌حل‌های مختلفی برای پیاده‌سازی این شبکه‌ها وجود دارد. در بحث مجازی‌سازی کارکردهای شبکه، زیرساخت ارتباطی مورد نیاز برای کارکردهای مجازی از طریق همین شبکه‌های مجازی فراهم آورده می‌شود. یعنی مسائلی که پیشتر در بحث جایگذاری شبکه‌های مجازی مطرح بود امروز جزئی از مسائل جایگذاری زنجیره‌های کارکرد سرویس می‌باشند.

^۱ High Volume Server



شکل ۱-۱: معماری مجازی‌سازی کارکردهای شبکه

۲-۱-۱ کارکردهای مجازی شبکه

یک کارکرد شبکه، یک بلوک عملیاتی در زیرساخت شبکه است که عملکرد رفتاری و رابط‌های ارتباط با خارج خوش تعریف دارد. مثال‌هایی از کارکردهای شبکه می‌تواند شامل DHCP یا firewall و ... باشد. با این توضیحات کارکرد مجازی شبکه، پیاده‌سازی یک کارکرد شبکه است که می‌تواند روی منابع مجازی شده اجرا شود. از هر کارکرد شبکه می‌توان نمونه‌سازی کرده و چند نمونه را در شبکه مستقر ساخت. این نمونه‌ها می‌توانند برای سرویس‌دهی به زنجیره‌های مختلف استفاده شوند. از آنجایی که هر نمونه توان پردازشی محدودی دارد با افزایش تعداد نمونه‌ها می‌توان توان پردازشی یک کارکرد را نیز افزایش داد.

۳-۱-۱ NFV MANO

بر اساس چهارچوب پیشنهادی ETSI وظیفه‌ی NFV MANO فراهم آوردن کارکردهای لازم برای تدارک و فرآیندهای مشابه مانند تنظیم کردن و ... کارکردهای مجازی شبکه است. NFV MANO شامل هماهنگ کننده و مدیریت کننده چرخه‌ی زندگی منابع سخت‌افزاری و نرم‌افزاری که مجازی‌سازی زیرساخت را پشتیبانی می‌کنند، است. هر زنجیره نیاز دارد که حداقل توسط یک VNFM مدیریت شود تا مثلاً خطاهای آن را تحت نظر قرار دهد و در صورت نیاز در قسمت دیگری از شبکه استقرار یابد. مساله‌ی جایگذاری زنجیره‌ها بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است، اما در این بین توجه لازم به نیاز این زنجیره‌ها به یک VNFM صورت نپذیرفته است.

فصل دوم

کارهای مرتبط

در [۴] نویسندگان قصد دارند با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت لینک‌ها و محدودیت پردازشی نودها بیشترین تعداد زنجیره‌ی کارکرد را بپذیرند. برای این کار یک مساله‌ی ILP طراحی می‌کنند و ثابت می‌کنند که این مساله NP-Hard می‌باشد. در این مقاله وجود VNFM برای زنجیره‌ها در نظر گرفته نشده است.

در [۲] نویسندگان استفاده از VNFM را مدنظر قرار داده‌اند. در این مقاله فرض شده است که جایگذاری SFCها صورت گرفته است و می‌خواهیم VNFMها را به گونه‌ای استقرار دهیم که با رعایت شدن نیازمندی‌های کارآیی، هزینه‌ی عملیاتی سیستم حداقل شود. مساله مطرح شده به صورت ILP مدلسازی می‌شود. این مقاله هزینه‌ی عملیاتی سیستم را تحت چهار عنوان دسته‌بندی می‌کند: هزینه‌ی مدیریت چرخه‌ی زندگی، هزینه‌ی منابع محاسباتی، هزینه‌ی مهاجرت و هزینه‌ی بازنگاشت. در این مقاله فرض می‌شود که هر نمونه از VNFMها می‌تواند به تعداد مشخصی از نمونه‌های VNF سرویس‌دهی کند و این سرویس‌دهی به نوع نمونه وابسته نیست. این مقاله محدودیت‌های پردازشی و ظرفیتی را مدنظر قرار می‌دهد.

در [۶] نویسندگان سه مرحله برای عملیات جایگذاری زنجیره‌های کارکرد سرویس معرفی می‌کنند: انتخاب، جابجاری و مسیریابی. در این مقاله فرض می‌شود برای هر نوع VNF چند مدل مختلف با مصرف منابع مختلف وجود دارند که می‌توان از آن‌ها نمونه ساخت، در این مرحله مشخص می‌شود از کدام مدل نمونه‌سازی صورت می‌گیرد. این مقاله جایگذاری یک SFC را مدل‌سازی می‌کند، در این مقاله فرض می‌شود جریان ورودی و خروجی از هر نمونه برابر بوده و در واقع VNF تغییری بر روی ترافیک ایجاد نمی‌کند. در مدل‌سازی این مقاله که به صورت ILP می‌باشد هدف کاهش هزینه در جایگذاری SFC داده شده می‌باشد. با در نظر گرفتن مدل‌های مختلف برای VNFها در این مقاله در صورتی که نیاز به پردازش ترافیک زیادی باشد، چند نمونه از یک نوع VNF ساخته می‌شود و ترافیک بین آن‌ها تقسیم می‌شود.

در [۱۲] نویسندگان برای اولین بار مساله‌ی Traffic Streering با در نظر گرفتن QoS و Reliability فرمول‌بندی کرده‌اند. این مقاله کاربرد NFV را در شبکه‌های موبایل مدنظر قرار داده است. در این مقاله مساله به صورت Link-Path مدل‌سازی شده است و فرض شده است که مسیرهای ممکن برای جایگذاری کلاس‌های ترافیکی از پیش تعیین شده‌اند. در این مقاله منظور از کیفیت سرویس تاخیر و گذردهی کلاس‌های ترافیکی می‌باشد و برای فراهم آوردن قابلیت اطمینان فرض می‌شود که خرابی‌ها به صورت دلخواه بوده و در صورت خرابی بخشی از پهنای باند از دست می‌رود.

در [۷] نویسندگان مساله‌ی جایگذاری و مسیریابی زنجیره‌های کارکرد سرویس را به صورت توامان مدل‌سازی می‌کنند، در این مساله نویسندگان تاثیر دو پارامتر Coordination Effect و Traffic-Change Effect را نیز مدنظر قرار داده‌اند. زمانی که چند VM در پیاده‌سازی یک کارکرد شبکه استفاده می‌شوند نیاز است که بین این ماشین‌های مجازی هماهنگی صورت بگیرد. برای این هماهنگی ارتباطاتی صورت می‌گیرد که دارای سربار بوده و به این سربار Coordination Effect می‌گویند. هر کارکرد شبکه می‌تواند روی ترافیک ورودی خود تاثیر گذاشته و نرخ آن را تغییر دهد که این موضوع را با Traffic-Change Effect بیان می‌کنند.

در [۳] نویسندگان قصد دارند به صورت قطعی کیفیت سرویس را گارانتی نمایند. این مقاله پیاده‌سازی NFV را با استفاده از SDN هدف قرار می‌دهد و برای محاسبه‌ی تاخیر، تاخیر پیام‌های کنترلی SDN و تاخیر جابجایی بسته‌ها را در نظر می‌گیرد. برای پیشنهاد یک راه‌حل قطعی از Network Calculus استفاده می‌شود که شرایط مرزی را بررسی می‌کند. این شرایط مرزی برای پیام‌های کنترلی محاسبه شده و از آن تاخیر مورد نظر در جابجایی بسته‌ها بدست می‌آید که با استفاده از آن یک مساله‌ی بهینه‌سازی با هدف رعایت تاخیر بدست آمده حاصل می‌شود.

در [۹] نویسندگان پیاده‌سازی NFV با SDN را هدف قرار داده‌اند و جایگذاری middle boxها با هدف توزیع بار را فرمول‌بندی کرده‌اند. در واقع middle boxها در این مقاله به صورت مجازی بوده و همان کارکردهای مجازی شبکه می‌باشند. مدل‌سازی صورت گرفته به صورت node link صورت پذیرفته است. هدف مساله مسیریابی چند مسیر برای تقاضا به صورتی است که در آن link load

ratio برای تمام لینک‌ها می‌نیم شود. این مقاله تغییر ترافیک توسط کارکردها را نیز مدنظر قرار داده است. در [۸] مساله‌ی جایگذاری زنجیره‌های کارکرد سرویس با دو هدف کاهش مصرف انرژی و افزایش نرخ جریان پذیرفته شده مدل‌سازی می‌شود. این مدل‌سازی با توجه به معماری IETF SFC صورت پذیرفته است. در مدل‌سازی این مقاله جزئیات زیادی مورد توجه قرار گرفته است که این امر باعث پیچیده شدن فرمول‌بندی شده است.

در [۵] نویسندگان ابتدا مساله‌ی جایگذاری و مسیریابی VNFها را در اوج ترافیک حل می‌کنند. در ادامه آن‌ها فرض می‌کنند که ترافیک به صورت دوره‌ای-ثابت می‌باشد به این معنا که ترافیک در تعداد متناهی بازه‌ی زمانی تعریف شده و تکرار می‌شود. با این فرض در ادامه مقاله مساله‌ی دیگری مبنی بر مهاجرت نمونه‌ها با توجه به تغییر ترافیک را مطرح می‌کند. در این مهاجرت‌ها مقاله از توان مصرفی در مهاجرت صرف نظر کرده و تلاش می‌کند جریمه‌ای که بابت قطعی سرویس پرداخت می‌شود و توان مصرفی کل سیستم را بهینه کند.

در [۱۱] نویسندگان مساله‌ی توزیع بار در NFV را بررسی می‌کنند، آن‌ها در این مساله ویژگی‌های پایه‌ای NFV در کنار استفاده از روش ECMP مدنظر قرار می‌دهد. در روش ECMP بار بین مبدا و مقصد به صورت یکسان بین تمام مسیرها تقسیم می‌گردد. در این مساله تعدادی تقاضا در نظر گرفته می‌شود که کوتاهترین مسیرها بین مبدا و مقصد آن‌ها مشخص است و در نهایت بار در این مسیرها توزیع شده و کارکردها شبکه‌ای نیز در این مسیرها مستقر می‌شوند.

جدول ۲-۱: مقایسه مقالات پذیرش زنجیره‌های کارکرد سرویس

منبع	منابع	محدودیت ظرفیت پردازشی نمونه	برخط یا برون خط	نگاشت کارکرد و لینک	انتساب کارکرد	اشتراک نمونه	تخصیص VNFM								
#	other	MEM	BW	CPU	دارد	برخط	برون خط	کارکرد لینک	یک نمونه	چند نمونه	دارد	ندارد	دارد	ندارد	
[۴]	—	—	—	✓	✓	—	✓	✓	✓	—	—	✓	—	✓	
[۶]	—	—	—	✓	✓	—	✓	✓	—	✓	—	✓	—	✓	
[۷]	—	—	—	✓	✓	—	✓	✓	—	✓	—	✓	—	✓	
پژوهش حاضر	—	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	—	—	✓	—	✓	

همانطور که در کارهای بیان شده دیده می‌شود، مساله‌ی تخصیص منابع مدیریتی در پذیرش زنجیره‌های کارکرد مورد بررسی قرار نگرفته است و در پژوهش حاضر قصد داریم این مورد را بررسی نماییم.

فصل سوم

تعریف مساله

۳-۱ مساله

پذیرفتن بیشترین تقاضای زنجیره کارکرد سرویس با در نظر گرفتن انتساب هر نمونه کارکرد مجازی شبکه به یک VNFM. همانطور که در مستند [۱] نیز آمده است، نیاز است که هر یک نمونه‌های کارکردهای مجازی شبکه توسط حداقل یک VNFM مدیریت شوند. در این مساله قصد داریم مساله پذیرش تقاضاهای زنجیره‌های کارکرد سرویس را با نظر گرفتن این نیازمندی در کنار نیازمندی‌های پردازی و پهنای‌بند هر یک از تقاضاها حل کنیم. در ادامه به صورت خلاصه شرایط مساله را بررسی می‌کنیم:

- توپولوژی زیرساخت شامل پهنای‌بند لینک‌ها و ظرفیت NFVI-PoPها موجود است.
 - n تقاضای زنجیره کارکرد سرویس به صورت کامل و از پیش مشخص شده داریم.
 - هر تقاضا شامل نوع و تعداد نمونه‌های مجازی و پهنای‌بند لینک‌های مجازی می‌باشد.
 - F نوع کارکرد مجازی شبکه تعریف شده است که هر یک مقدار مشخصی از حافظه و توان پردازی را مصرف می‌کنند.
 - تعداد پردازنده‌هایی که به هر نمونه تخصیص می‌یابد با توجه به ترافیک ورودی نمونه مشخص می‌شود.
 - نمونه‌ها بین زنجیره‌ها به اشتراک گذاشته نمی‌شوند.
 - محدودیت ظرفیت لینک‌ها
 - محدودیت توان پردازش سرورهای فیزیکی با توجه به میزان حافظه و تعداد پردازنده‌ها
 - برای مدیریت یکدست و آسان‌تر زنجیره‌ها و در عین حال جمع‌آوری راحت‌تر خطاها، برای هر زنجیره یک VNFM تخصیص می‌دهیم.
 - VNFMها می‌توانند بین زنجیره به اشتراک گذاشته شوند.
 - هر نمونه از VNFMها می‌تواند تعداد مشخصی از نمونه‌های کارکرد مجازی شبکه را سرویس دهد.
 - برای ارتباط میان هر نمونه از VNFMها و VNFها پهنای‌بند مشخصی رزرو می‌گردد.
 - بر روی هر NFVI-PoP حداکثر یک نمونه VNFM مستقر می‌گردد.
- اگر جایگذاری VNFMها به صورت غیر برنامه‌ریزی شده صورت پذیرد ممکن است به تاخیرهای غیرقابل تحمل منجر شده و به این ترتیب تاثیر منفی بر روی کارایی سیستم داشته باشد.
- یکی از وظایف VNFMها جمع‌آوری پیام‌های خطا می‌باشد، برای این امر نیاز است که پهنای‌بند کوچک اما اختصاصی به VNFMها تخصیص داده شود بنابراین نمی‌توان جایگذاری آن‌ها را با روش‌های سابق و مانند سایر کارکردهای مجازی شبکه فرض کرد. در نظرگرفتن VNFM همراه با VNFها مساله‌ی جدیدی است.

۲-۳ فرمول بندی

هدف اصلی مساله پذیرش بیشترین تعداد تقاضا می باشد. در اینجا فرض می کنیم پذیرش هر تقاضا سودی منحصر به فرد خواهد داشت. بنابراین تابع هدف به شکل زیر می باشد:

$$\max \sum_{h=1}^T c_h x_h \quad (3-1)$$

$memory(k)$	required RAM of VNF instance with type k in GB
$core(k)$	required CPU cores of VNF instance with type k
$memory$	required RAM of VNFM in GB
$core$	required CPU cores of VNFM
$capacity$	maximum number of VNF instances that VNFM can handle
$len(h)$	number of VNF instances in h th SFC request
$type(v, k)$	assuming the value 1 if the VNF instance v has type k
$bandwidth(u, v)$	required bandwidth in link from VNF instance u to v
$bandwidth$	required bandwidth in management link
$radius$	maximum neighborhood distance for instance management

x_h	binary variable assuming the value 1 if the h th SFC request is accepted; otherwise its value is zero
y_{wk}	the number of VNF instances of type k that are used in server $w \in V_s^{PN}$
z_{vw}^k	binary variable assuming the value 1 if the VNF node $v \in \cup_{i=1}^T V_{i,F}^{SFC}$ is served by the VNF instance of type k in the server $w \in V_s^{PN}$
\bar{y}_w	binary variable assuming the value 1 if VNFM on server $w \in V_s^{PN}$ is used; otherwise its value is zero
\bar{z}_{hw}	binary variable assuming the value 1 if h th SFC is assigned to VNFM on server $w \in V_s^{PN}$

برای هر نود اندازه‌ی مشخصی از حافظه RAM در نظر گرفته می شود که هر نمونه‌ی کارکرد با توجه به نوع آن مقدار مشخصی از این حافظه را مصرف می کند. VNFM نیز مقدار مشخصی از حافظه را مصرف می کند.

Node Memory Constraint:

$$\sum_{k=1}^F y_{wk} memory(k) + \bar{y}_w memory \leq N_{ram}^{PN}(w) \quad \forall w \in V_s^{PN} \quad (3-2)$$

برای هر نود تعداد مشخصی از هسته‌های پردازنده در نظر گرفته می شود که هر نمونه‌ی کارکرد با توجه به نوع آن مقدار مشخصی از این تعداد را مصرف می کند. VNFM نیز مقدار مشخصی از تعداد هسته‌های پردازنده را مصرف می کند.

Node CPU Constraint:

$$\sum_{k=1}^F y_{wk} core(k) + \bar{y}_w core \leq N_{core}^{PN}(w) \quad \forall w \in V_s^{PN} \quad (3-3)$$

اگر VNF، v توسط VNF instance نوع k روی سرور w سرویس شود می بایست VNF instance نوع k روی سرور w فعال شود.

توجه شود که اشتراک گذاری VNF ها پشتیبانی نمی گردد.

Service Place Constraint:

$$\sum_{v \in \cup_{i=1}^T V_{i,F}^{SFC}} z_{vw}^k \leq y_{wk} \quad \forall w \in V_s^{PN}, \forall k \in [1, \dots, F] \quad (3-4)$$

اگر تقاضای h پذیرفته شده باشد می بایست تمام VNF node های آن سرویس شده باشند. یک VNF حداکثر یکبار سرویس داده شود.

Service Constraint:

$$x_h = \sum_{k=1}^F \sum_{w \in V_s^{PN}} z_{vw}^k \quad \forall v \in V_{h,F}^{SFC}, \forall h \in [1, \dots, T] \quad (3-5)$$

اگر تقاضای h پذیرفته شده باشد می بایست توسط یک VNFM سرویس شده باشد.

Manage Constraint:

$$x_h = \sum_{w \in V_s^{PN}} \bar{z}_{hw} \quad \forall h \in [1, \dots, T] \quad (3-6)$$

اگر SFC، توسط VNFM روی سرور w سرویس شود می بایست VNFM سرور w فعال شود.

Manager Place Constraint:

$$\bar{z}_{hw} \leq \bar{y}_w \quad \forall w \in V_s^{PN}, \forall h \in [1, \dots, T] \quad (3-7)$$

محدودیت ظرفیت سرویس دهی VNFM این محدودیت براساس تعداد ماشین های محازی که هر VNFM سرویس می دهد تعیین شده است.

Manager Capacity Constraint:

$$\sum_{i=1}^T \hat{z}_{iw} * len(i) \leq capacity \quad \forall w \in V_s^{PN} \quad (3-8)$$

اگر VNF، توسط instance نوع k روی سرور w سرویس شود می بایست خود از نوع k باشد.

Type Constraint:

$$z_{vw}^k \leq type(v, k) \quad \forall w \in V_s^{PN}, \forall k \in [1, \dots, F], \forall v \in \cup_{i=1}^T V_{i,F}^{SFC} \quad (3-9)$$

$\tau_{ij}^{(u,v)}$	binary variable assuming the value 1 if the virtual link (u, v) is routed on the physical network link (i, j)
$\bar{\tau}_{ij}^v$	binary variable assuming the value 1 if the managemnt of VNF node v is routed on the physical network link (i, j)

محدودیت زیر بقای جریان در لینک های مورد تقاضای کاربر را تضمین می کند.

Flow Conservation:

$$\sum_{(i,j) \in E^{PN}} \tau_{ij}^{(u,v)} - \sum_{(j,i) \in E^{PN}} \tau_{ji}^{(u,v)} = \sum_{k=1}^F z_{ui}^k - \sum_{k=1}^F z_{vi}^k$$

$$\forall i \in V_S^{PN}, (u,v) \in E_h^{SFC}, h \in [1, \dots, T] \quad (3-10)$$

محدودیت زیر بقای جریان در لینک‌های مدیریتی را تضمین می‌کند.

Management flow Conservation:

$$\sum_{(i,j) \in E^{PN}} \bar{\tau}_{ij}^v - \sum_{(j,i) \in E^{PN}} \bar{\tau}_{ji}^v = \sum_{k=1}^F z_{vi}^k - \bar{z}_{hi}$$

$$\forall i \in V_S^{PN}, v \in V_{h,F}^{SFC}, h \in [1, \dots, T] \quad (3-11)$$

محدودیت ظرفیت لینک‌ها

Link Bandwidth Constraint:

$$\sum_{v \in \cup_{i=1}^T V_{i,F}^{SFC}} \bar{\tau}_{ij}^v * bandwidth + \sum_{(u,v) \in \cup_{i=1}^T E_i^{SFC}} \tau_{ij}^{(u,v)} * bandwidth(u,v) \leq C_{ij}$$

$$\forall (i,j) \in E^{PN} \quad (3-12)$$

شعاع همسایگی تضمین می‌کند که زمان سرویس‌دهی توسط VNFM‌ها در یک بازه مشخص (از نظر تعداد هاب) خواهد بود.

Radius Constraint

$$\sum_{(i,j) \in E^{PN}} \bar{\tau}_{ij}^v \leq radius \quad \forall v \in \cup_{i=1}^T V_{i,F}^{SFC} \quad (3-13)$$

فصل چهارم

راه‌حل پیشنهادی و ارزیابی

۴-۱ راه حل پیشنهادی

مساله‌ی بیان شده به صورت ILP مدل‌سازی می‌شود. در [۴] مساله‌ی جایگذاری SFCها با هدف حداکثرسازی تعداد درخواست‌های پذیرفته شده به صورت ILP مدل‌سازی شده و اثبات شده است که مساله‌ی حاضر NP-Hard می‌باشد. مساله‌ای که در اینجا مدل‌سازی می‌شود از آن مساله پیچیده‌تر می‌باشد زیرا در نظر گرفتن VNFMها را نیز شامل می‌شود. برای این مساله می‌توان یک راه حل مکاشفه‌ای با زمان چند جمله‌ای پیشنهاد داد.

یکی از راه‌حل‌های ساده مرتب کردن تمام تقاضاها براساس منابع مصرفی (پهنای باند و منابع پردازشی) و در ادامه جایگذاری آن‌ها از تقاضای با کمترین منابع مصرفی به تقاضای با بیشترین منابع مصرفی می‌باشد. در ادامه از تقاضا با کمترین منابع مصرفی آغاز کرده و آن را روی سرورها قرار می‌دهیم، برای این امر یک تابع ارزش‌دهی پیشنهاد می‌شود و این جایگذاری روی سرور با بیشترین ارزش صورت می‌پذیرد. در نهایت نگاشت لینک‌ها صورت می‌پذیرد، برای این کار نگاشت با هدف توزیع بار و به صورت چند مسیره صورت می‌پذیرد.

۴-۲ ارزیابی

در این مساله هدف پذیرش تعداد بیشینه‌ی تقاضاهای زنجیره‌ی کارکرد سرویس می‌باشد که به این ترتیب معیار مقایسه نیز همین پارامتر خواهد بود. این پارامتر در ارزیابی با سایر مقالات مقایسه می‌شود ولی باید در نظر داشت که نیازمندی‌های مدیریتی که در این پژوهش مدنظر است در سایر پژوهش‌ها مدنظر نبوده است. راه‌حل پیشنهادی بهینه نبوده و به همین علت کارایی آن در سناریوهایی با حل بهینه مقایسه می‌شود.

منابع و مراجع

- [1] Etsi gs nfv-man 001 v1.1.1: Network function virtualization (nfv): Management and orchestration. Technical report, december 2014.
- [2] Abu-Lebdeh, Mohammad, Naboulsi, Diala, Glitho, Roch, and Tchouati, Constant Wette. On the placement of VNF managers in large-scale and distributed NFV systems. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 14(4):875–889, dec 2017.
- [3] Chen, Yu-Jia, Wang, Li-Chun, Lin, Feng-Yi, and Lin, Bao-Shuh Paul. Deterministic quality of service guarantee for dynamic service chaining in software defined networking. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 14(4):991–1002, dec 2017.
- [4] Eramo, V., Tosti, A., and Miucci, E. Server resource dimensioning and routing of service function chain in NFV network architectures. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2016:1–12, 2016.
- [5] Eramo, Vincenzo, Miucci, Emanuele, Ammar, Mostafa, and Lavacca, Francesco Giacinto. An approach for service function chain routing and virtual function network instance migration in network function virtualization architectures. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 25(4):2008–2025, aug 2017.
- [6] Ghaznavi, Milad, Shahriar, Nashid, Kamali, Shahin, Ahmed, Reaz, and Boutaba, Raouf. Distributed service function chaining. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35(11):2479–2489, nov 2017.
- [7] Huang, Huawei, Li, Peng, Guo, Song, Liang, Weifa, and Wang, Kun. Near-optimal deployment of service chains by exploiting correlations between network functions. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, pages 1–1, 2017.
- [8] Jang, Insun, Suh, Dongeun, Pack, Sangheon, and Dan, Gyorgy. Joint optimization of service function placement and flow distribution for service function chaining. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35(11):2532–2541, nov 2017.
- [9] Ma, Wenrui, Beltran, Jonathan, Pan, Zhenglin, Pan, Deng, and Pissinou, Niki. SDN-based traffic aware placement of NFV middleboxes. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 14(3):528–542, sep 2017.
- [10] Mijumbi, Rashid, Serrat, Joan, Gorricho, Juan-Luis, Bouten, Niels, Turck, Filip De, and Boutaba, Raouf. Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1):236–262, 2016.

-
- [11] Pham, Tuan-Minh, Nguyen, Thi-Thuy-Lien, Fdida, Serge, and Binh, Huynh Thi Thanh. Online load balancing for network functions virtualization. In *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE, may 2017.
- [12] Yu, Ruozhou, Xue, Guoliang, and Zhang, Xiang. QoS-aware and reliable traffic steering for service function chaining in mobile networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35(11):2522–2531, nov 2017.