

فصل 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 سرویس‌ها را در قالب ریاضی فرمول‌بندی کنیم و از این رو بحث Network Calculus به ما برای بیان شرایط حدی کمک می‌کند. مقالات در این حوزه عموماً یک رابطه ساده برای منحنی سرویس و منحنی ورود سرویس‌ها، در نظر می‌گیرند و با مفهوم پیش‌آن‌ها را به تمام سرویس تعمیم می‌دهند. مقالات کمی در حوزه بهره‌گیری از Network Calculus عمیق‌تر از این عمل کرده بودند که عمدتاً هم حوزه‌ی آن‌ها بحث‌های TE می‌باشد. در این مرحله می‌توان یک مساله‌ی بهینه‌سازی صحیح مطرح و از روش‌های گوناگون برای حل آن بهره برد. یکی از این روش‌ها استفاده از Quantum computing می‌باشد. در عین حال می‌شود از روش‌های یادگیری تقویتی هم بهره جست.

در مساله دوم قصد داریم سرویس‌های جایگذاری شده را بعد از یک بازه زمانی دوباره جایگذاری کنیم اما بحث اصلی در این رابطه استفاده از پیش‌بینی ترافیک لینک‌ها است. در واقع متقاضیان سرویس هرگز در رابطه با ترافیک دقیق سیستمشان اطلاعی ندارد. در پیش‌بینی ترافیک دو بحث معیار مطرح است یکی ساختار مکانی و دیگری زمان می‌باشد. برای حل این مساله نیاز است این دو معیار توأمان 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.

فصل 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

¹Network Function Virtualization

²Service Function Chaining

افزارهای عمومی را فراهم کرده است تا نیاز به تجهیزات سخت افزاری خاص منظوره کاهش یابد. از طرف دیگر زنجیره سازی کارکرد سرویس امکان تعریف زنجیره کارکردها را ارائه می کند که ایجاد و انتخاب مسیرهای متفاوت برای پردازش ترافیک به صورت پویا و بدون ایجاد تغییر در زیرساخت فیزیکی را امکان پذیر می کند. با توجه به این فناوری ها، مسائل تحقیقاتی جدیدی مطرح شدند که از مهم ترین آن ها می توان تخصیص منابع بهینه به سرویس درخواستی کاربر را نام برد.

از مهم ترین اهدافی که در حل مسائل تخصیص منابع می توان در نظر گرفت، بحث کیفیت سرویس است. کیفیت سرویس تاثیر مستقیمی بر رضایت کاربر از سرویس های یک مرکز داده داشته و از سوی دیگر نقص آن می تواند به قرارداد لایه سرویس آسیب زده و موجب جریمه مرکز داده ای 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 داده اند. با این وجود تعداد بسیاری از این تحقیقات فرضیات محدود کننده ای 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 نمی توان برای ترافیک موردنظر تنها از یک نمونه استفاده کرد. بنابراین در این رساله فرض شده است که می توان از یک کارکرد نمونه های مختلف ساخته و از یک ماشین مجازی برای نگاشت بیش از یک کارکرد استفاده نمود. همچنین در جهت کاهش هزینه های مرکز داده ای می توان از یک نمونه کارکرد برای سرویس دهی به چند زنجیره نیز استفاده کرد که در این رساله مدنظر قرار گرفته است.

در این رساله به تحقق و تمضین توافق نامه لایه سرویس، سرویس های درخواستی کاربران تمرکز می کنیم. سرویس درخواستی هر کاربر را به صورت مجموعه ای از کارکردها که توسط گراف SFC با یکدیگر ارتباط دارند در نظر می گیریم. برای استقرار سرویس باید مشخص شود که هر کارکرد باید بر روی چه سرورهایی در شبکه زیرساخت مستقر شود و پهنای باند لینک های زیرساخت چگونه به لینک های بین کارکردها اختصاص یابد. در این رساله صرفا کارکردهای مجازی را در نظر می گیریم و فرض می کنیم که هر کارکرد توسط یک VNF که پیاده سازی نرم افزاری آن کارکرد است ارائه می شود. ما فرض می کنیم تعدادی درخواست سرویس توسط فراهم کننده زیرساخت دریافت شده است. تضمین توافق نامه لایه سرویس از سه گام تشکیل شده است: تحقق، تضمین و اثبات. برای هر یک از درخواست ها می بایست این مراحل طی شود تا توافق نامه لایه سرویس تضمین شود.

در این رساله ما مساله تحقق و تضمین توافق نامه لایه سرویس برای سرویس های درخواستی کاربر در مجازی سازی کارکردهای شبکه را در نظر گرفته و آن را در قالب سه زیر مساله مرتبط مورد بررسی قرار می دهیم.

در مساله اول به بحث جایگذاری و تخصیص منابع به سرویس های درخواستی در جهت تحقق توافق نامه لایه سرویس می پردازیم. در این مساله بر خلاف مسائل موجود فرض می شود درخواست ها به صورت برخط در اختیار مرکز داده ای قرار گرفته و خروجی مساله اول پذیرش یا عدم پذیرش درخواست ها می باشد.

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 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 بیاندازد.
- 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.

³Deep Reinforcement Learning

⁴Graph Neural Network

فصل ۳

مفاهیم و معماری‌های مرتبط

۱.۳ مقدمه

راه‌اندازی و استقرار سرویس در صنعت مخابرات به طور سنتی بر این اساس است که اپراتورهای شبکه، سخت‌افزارهای و نرم‌افزارهای مناسب هر کارکرد در سرویس را در زیرساخت خود مستقر کنند. فراهم کردن نیازمندی‌هایی مانند پایداری و کیفیت سرویس بالا منجر به اتکای فراهم کنندگان سرویس بر تجهیزات اختصاصی می‌شود. نیازمندی کاربران به سرویس‌های متنوع و عموماً با عمر کوتاه و نرخ بالای ترافیک نیز افزایش یافته است. بنابراین فراهم کنندگان سرویس‌ها باید مرتباً و به صورت پیوسته تجهیزات فیزیکی جدید را خریده، انبارداری کرده و مستقر کنند که باعث افزایش هزینه‌های فراهم کنندگان سرویس می‌شود [۱]. از سوی دیگر در تحقیقاتی که اخیراً انجام شده است، نشان داده شده که تعداد سخت‌افزارهای خاص منظوره نصب شده برای کارکردهای شبکه قابل مقایسه با تعداد سویچ‌ها و مسیریاب‌های شبکه است [۴]. با افزایش تعداد 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. همچنین اغلب کارایی و قابلیت‌های سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای خاص منظوره که از سمت فروشندگان تجهیزات ارائه می‌شود محدود به انتخاب‌های فروشندگان است و خریداران تجهیزات قادر به سفارشی‌سازی تجهیزات خریداری شده نیستند. بدتر این که هر چه نوآوری سرویس‌ها و فناوری شتاب بیشتری می‌گیرد، چرخه عمر سخت‌افزارها 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 سخت‌افزاری 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 گیرد. 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 (NFV) و زنجیره‌سازی کارکردهای سرویس (SFC). هدف از مجازی‌سازی کارکردهای شبکه این است که کارکردها بتوانند بر روی سخت افزارهای استاندارد اجرا شوند تا نیاز به تجهیزات سخت‌افزاری خاص منظره کاهش یابد. از طرف دیگر زنجیره‌سازی کارکردهای سرویس امکان تعریف زنجیره کارکردها به صورت پویا و در هر زمان را ارائه می‌کند که تغییر در زیرساخت فیزیکی را کاهش می‌دهد.

از آنجایی که از مفاهیم این فناوری‌ها برای طراحی و تعریف مسئله در این رساله استفاده شده است، نیازمند آشنایی با مفاهیم ابتدایی و اصول اولیه آن‌ها خواهیم بود. بنابراین در این فصل به صورت خلاصه اجزای این فناوری‌ها را مرور خواهیم کرد و کاربردها، چالش‌ها و مسائل تحقیقاتی که در هر یک از این معماری‌ها وجود دارد را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۲.۳ مجازی‌سازی کارکرد شبکه

مجازی‌سازی کارکرد شبکه اصل جداسازی کارکرد شبکه به وسیله انتزاع سخت‌افزاری مجازی از سخت‌افزاری است که بر روی آن اجرا می‌شود. هدف مجازی‌سازی کارکرد شبکه تغییر روش اپراتورهای شبکه در طراحی شبکه با تکامل مجازی‌سازی استاندارد فناوری اطلاعات به منظور جمع تجهیزات شبکه در سرورهای استاندارد، سوییچ‌ها و ذخیره‌سازها با توان بالا است. یک سرور استاندارد با توان بالا سروری است که توسط اجزای استاندارد شده فناوری اطلاعات، مانند معماری x86، ساخته شده و در تعداد بالایی، مانند میلیون، فروخته می‌شود. ویژگی اصلی این سرورها این است که اجزای آن‌ها به راحتی از فروشندگان مختلف قابل خریداری و تعویض است. این تجهیزات می‌توانند در مراکز داده، گره‌های شبکه، یا مکان کاربران انتهایی قرار بگیرند. این روند در؟؟ نیز توصیف شده است. با استفاده از مجازی‌سازی کارکرد شبکه، انواع کارکردهای شبکه مانند دیواره آتش و NAT را می‌توان به صورت یک برنامه نرم‌افزاری از فروشندگان مختلف تهیه کرد و آن‌ها را بر روی سرورهای با توان بالا اجرا کرد که نیاز به نصب تجهیزات خاص منظره و جدید را برطرف می‌سازد [۲].

مزایا و اهداف اساسی که NFV برای تحقق و دستیابی به آنها شکل گرفته است عبارتند از [۶]:

- کاهش هزینه‌های تجهیزات و مصرف انرژی از طریق جمع کارکردها بر روی سرورها و در نتیجه کاهش تعداد تجهیزات
- کاهش نیاز به آموزش کارکنان، افزایش دسترسی‌پذیری به سخت‌افزار و کاهش زمان بازیابی از خرابی سخت‌افزار به علت استفاده از سخت‌افزارهای استاندارد و عمومی
- افزایش سرعت عرضه محصول به بازار با کوتاه کردن چرخه نوآوری و تولید. در واقع مجازی‌سازی کارکرد شبکه به اپراتورهای شبکه کمک می‌کند تا چرخه بلوغ محصول را به اندازه قابل توجهی کاهش دهند.
- امکان‌پذیر بودن تعریف سرویس مورد نظر بر اساس نوع مشتری یا محل جغرافیایی. مقیاس سرویس‌ها می‌تواند به سرعت، بر اساس نیاز، گسترش یا کاهش یابد.
- تشویق به ایجاد نوآوری و ارائه سرویس‌های جدید و دریافت جریان‌های درآمدی تازه با سرعت بالا و ریسک پایین.

- افزایش توانایی مقابله با خرابی کارکردها، قابلیت به اشتراک گذاری منابع بین کارکردها و پشتیبانی از چند مشتری

سازمان های استاندارد گذاری متعددی در استاندارد سازی فناوری مجازی سازی کارکرد شبکه دخیل هستند که شاخص ترین آن ها موسسه استانداردهای مخابراتی اروپا^۱ (ETSI) است. در اواخر سال ۲۰۱۲ ETSI NFV ISG توسط هفت اپراتور جهانی شبکه به منظور ارتقا ایده مجازی سازی کارکرد شبکه تأسیس شد. NFV ISG تبدیل به یک بستر صنعتی اصلی برای توسعه چارچوب معماری NFV و نیازمندی های آن شده است و اکنون بیش از ۲۵۰ سازمان با آن همکاری می کنند. اسناد معماری NFV به صورت عمومی و رایگان توسط ETSI NFV ISG منتشر می شود. ما در این رساله برای توصیف معماری NFV از اسناد ارائه شده این سازمان استفاده می کنیم.

۱.۲.۳ اجزای معماری NFV

در این بخش مؤلفه های تشکیل دهنده معماری NFV شرح داده می شوند. هر یک از اجزای معماری می توانند توسط تولیدکنندگان متفاوتی تأمین شوند و به وسیله واسطه هایی که توسط معماری NFV توصیف شده اند با یکدیگر در ارتباط باشند. بنابراین معماری NFV توصیف شده توسط ETSI راه حلی با قابلیت مشارکت و هماهنگی چندین تولیدکننده مختلف را دارد. مؤلفه های اصلی چارچوب معماری NFV که در [۹] دیده می شوند عبارتند از:

NFVI شامل منابع سخت افزاری و نرم افزاری لازم برای اجرای VNF ها

Service : شامل VNF ها که کارکردهای شبکه را پیاده سازی کرده اند، EMS برای مدیریت VNF ها و OSS/BSS برای ارتباط با سیستم های مدیریت سنتی

MANO : که وظیفه مدیریت و هماهنگی سرویس ها و تخصیص منابع را برعهده دارد و از سه بخش NFVO ، VIM و VNFM تشکیل شده است.

در ادامه به توصیف اجزای ذکر شده از اسناد ETSI می پردازیم [۶]، [۷]، [۸] و [۹].

NFVI

مؤلفه NFVI شامل تمام نرم افزارها، مانند Hypervisor، و سخت افزارهایی است که با همکاری یکدیگر منابع زیرساخت برای استقرار VNF ها را فراهم می کنند. سخت افزارهای موجود در زیرساخت NFV به سه دسته منابع پردازشی، منابع ذخیره سازی و شبکه ارتباطی دسته بندی می شوند. Hypervisor یک لایه نرم افزاری است که سخت افزارهای زیرساخت را مجازی کرده و انتزاعی از آنها به دست می دهد.

این مؤلفه می تواند شامل کارکردهای شبکه به صورت کامل مجازی نشده نیز باشد. در این مؤلفه هر جایی که یک کارکرد شبکه به صورت یک VNF می تواند استقرار یابد یک NFVI-PoP نامیده می شود. به عنوان مثال یک سرور مجازی شده و یا یک مرکز داده مجازی شده را می توان به عنوان NFVI-PoP در نظر گرفت.

¹European Telecommunications Standards Institute

VNF

یک VNF پیاده سازی از یک کارکرد شبکه است که می تواند بر روی NFVI استقرار یابد. یک نمونه ۱ از VNF نتیجه ایجاد نمونه در زمان اجرا از برنامه VNF و مولفه های آن با رعایت نیازمندی های توصیف شده لازم است. در حقیقت یک نمونه را می توان با استفاده از اجرای برنامه یا تصویر VNF در یک ماشین مجازی ۳ و اختصاص منابع محاسباتی، پردازشی و شبکه به آن ایجاد کرد. هر VNF می تواند از یک یا چند مولفه (VNFC) تشکیل شود که هر یک از این مولفه ها خود می توانند در یک ماشین مجازی اجرا شوند. برای ایجاد نمونه از یک VNF، از همه VNFC های آن باید نمونه ایجاد شود. به عنوان یک مثال از VNF می توان کارکرد دیواره آتش مجازی شرکت CISCO به نام ASA۷ را نام برد که مشخصات آن در شکل ۳ نمایش داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می شود، چهار قالب مختلف ASA۷ تعریف شده که هر کدام نیازمندی های منابع پردازشی، حافظه و ذخیره سازی متفاوتی دارند و متناسب با منابع اختصاص یافته به آن ها، توانایی پردازش ترافیک مشخصی را می توانند ارائه کنند که با عنوان Throughput در شکل مشخص شده است. برای استقرار هر یک از این قالب ها باید یک ماشین مجازی مطابق با مشخصات نمایش داده شده در این شکل آماده شود و تصویر ASA۷ به آن داده شود. البته این روند برای ASA۷ به صورت خودکار و با استفاده از یک قالب استقرار که همراه با VNF دالود می شود انجام می شود. هر یک از این قالب ها نیاز به مجوزهای متفاوت دارند و هزینه های استفاده از آن ها متفاوت است.

هر VNF توسط توصیف گرا (VNFD) VNF توصیف می شود که شامل توصیف VNF و نیازمندی های لازم برای استقرار و همچنین رفتار VNF در زمان اجرا است. دو نوع مقیاس پذیری برای نمونه های یک VNF در زمان اجرا تعریف می شود. مقیاس پذیری افقی و عمودی. در اسناد ETSI این مقیاس پذیری ها برای VNFC ها به صورت زیر تعریف شده است:

- افزایش مقیاس افقی ۱: نمونه های جدیدی از VNFC ها ایجاد می شود. • افزایش مقیاس عمودی ۲: منابع پردازشی، ذخیره سازی و یا شبکه ای بیشتری به نمونه های ایجاد شده از VNFC ها داده می شود. • کاهش مقیاس افقی ۳: نمونه های ایجاد شده از VNFC ها خاتمه می یابند. • کاهش مقیاس عمودی ۴: منابع داده شده به نمونه های VNFC از آن ها گرفته می شود.

البته همانگونه که در تعریف ETSI مقیاس پذیری برای VNFC ها تعریف شده، می توان آن را برای VNF نیز تعریف کرد. افزایش یا کاهش مقیاس افقی و عمودی می تواند به صورت خودکار بر اساس شرایط مشخص شده در VNFD انجام شود یا از طریق واسطه های مدیریتی و بر اساس شرایط شبکه تصمیم گیری شود. همچنین چهار روش برای توزیع بار را بین نمونه های مختلف یک VNF به شرح زیر بیان شده است:

• VNF-Internal Load balancer

در این حالت فرض می شود که یک VNFC داخل VNF وجود دارد که توزیع و جمع آوری ترافیک را انجام می دهد. در این حالت نمونه های تکثیر شده VNFC از VNF های دیگر قابل مشاهده نیستند. این حالت در شکل ۴ نمایش داده شده است.