

زنجیربندی عملکرد سرویس مبتنی بر گرامر در شبکه‌های نرم‌افزار محور

پویا خسرویان دهکردی^۱، سیما عمادی^{۲*}، قاسم میرجلیلی^۳، بهزاد زمانی^۴

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۹۷/۰۱/۳۱	<p>زنجیربندی عملکرد سرویس^۵، تکنولوژی برای مدیریت انعطاف‌پذیر ترافیک سرویس، ارائه راه‌حل برای توزیع جریان و ایجاد سیاست‌های مناسب در طول مسیر جریان با توجه به نیازهای سرویس‌ها و با توجه به وضعیت در دسترس بودن شبکه است. مدیریت زنجیربندی عملکرد سرویس به دلیل ترکیبات متفاوت سرویس‌ها با پیکربندی اختصاصی مستعد خطا می‌باشند بر همین اساس راه‌حلی نیاز خواهد بود که ابهام‌زدایی مناسبی را برای چنین شرایطی فراهم کنند؛ بنابراین قبل از اجرا باید صحت زنجیره‌ها کاملاً کنترل شود که نیازمند تعریف قواعد زنجیربندی است. از جمله مسائلی که در این تکنولوژی مطرح است: بررسی صحت زنجیره‌ها و همچنین کاهش تعداد ترکیبات سرویس‌های زنجیره است که برای حل این مسائل در این مقاله از گرامر استفاده شده است. به این صورت که بر مبنای سناریوهای مطرح‌شده در کار گروه مهندسی اینترنت^۶، ابتدا اتوماتان آن‌ها را ایجاد کرده و سپس با استفاده از عبارت منظم و اتوماتان متناهی، گرامر آن‌ها به دست می‌آید. به دنبال آن، با استفاده از الگوریتم CYK^۷ ارزیابی گرامر انجام‌شده و تعداد ترکیبات سرویس‌ها نیز نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان با این گرامر، صحت زنجیره سرویس‌ها را بررسی کرد و همچنین تعداد ترکیبات سرویس‌های زنجیره‌ها را نیز به میزان قابل توجهی کاهش داد.</p>
پذیرش مقاله: ۹۷/۱۱/۱۷	
<p>واژگان کلیدی: شبکه‌های نرم‌افزار محور، زنجیربندی عملکرد سرویس، اتوماتان متناهی، عبارت منظم و گرامر منظم.</p>	

۱-مقدمه

امروز مفهوم زنجیربندی عملکرد سرویس به توسعه فناوری در زمینه مدیریت شبکه برمی‌گردد. محققان برای بهره‌برداری از مزایای مجازی‌سازی عملکرد شبکه^۸، شبکه‌های نرم‌افزار محور^۹ و برای رسیدن به یک سطح تجاری جدید، بر روی انعطاف‌پذیری و هم‌نوایی سریع سرویس‌های شبکه متمرکز شده‌اند. برای دستیابی به این هدف زنجیربندی عملکرد سرویس تعریف‌شده است که امکان ایجاد دنباله‌ای از سرویس‌های شبکه شامل

مجموعه‌ای منظم از توابع سرویس را دارد. زنجیربندی عملکرد سرویس یک مدل استقرار سرویس جدید است که برای انتقال ترافیک در طول مسیر منطقی از پیش تعریف‌شده بکار رفته و عملکرد سرویس‌ها را بدون توجه به توپولوژی شبکه و یا مکانیسم‌های حمل‌ونقل فراهم می‌کند. زنجیره سرویس اساساً یک ساختار سیاست‌گذاری است به طوری که چندین عملکرد برای یک زنجیره سرویس وجود دارد. در اصل، زنجیره سرویس علاوه بر انتقال داده‌های موجود در شبکه، یک طرح کنترلی برای ایجاد یک شبکه

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: emadi@iauyazd.ac.ir

۱. دانشکده مهندسی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

۲. دانشکده مهندسی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

۳. دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۴. دانشکده مهندسی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

⁵ Service Function Chaining

⁶ Internet Engineering Task Force

⁷ Cocke-Younger-Kasami

⁸ Network Function Virtualization

⁹ Software Defined Network

مدیریت، پیاده‌سازی شده و برای اثبات این رویکرد به‌عنوان یک مفهوم، از سناریوهای رایج استفاده شده است ولی راجع به بررسی صحت زنجیره بحثی نشده است. همچنین کوئین و گویچارد [۶] تکامل زنجیره سرویس را برای همکاری سرویس‌ها ضروری دانستند. در این مطالعه به‌منظور تکامل این زنجیره، هدرهای سرویس شبکه اطلاعات موردنیاز برای ساخت مسیرهای سرویس‌های توپولوژیکی مستقل را فراهم می‌کند و همچنین این هدرها به ارسال ابر داده بین طبقات و توابع سرویس می‌پردازد و زنجیره‌های درست، باید از قبل توسط کاربر تعریف شود.

معماری SFC متفاوت از مدل‌های رایج است و در حال حرکت به سمت مدل‌های جدیدی است که می‌تواند منجر به پیکربندی و مدل‌سازی امن شود. در این معماری، زنجیره‌ها با مجموعه‌هایی از توابع سرویس جایگزین می‌شوند. این امر می‌تواند با تعریف قواعد، جریان داده‌ها را از طریق شبکه انتقال بدهد و ملاحظات امنیتی برای ارزیابی مجدد مدل جدید فراهم کند. SFC همچنین، انتخاب را به شبکه محول می‌کند.

گاهی زنجیره‌ها حاوی چرخه‌هایی هستند بنابراین ترافیک ملزم به عبور از تعداد بیشتری عملکرد سرویس^۳ است. در این صورت راه‌حلی نیاز خواهد بود که ابهام‌زدایی مناسبی را برای چنین شرایطی فراهم کنند.

هر راه‌حل زنجیره سرویس در معماری SFC باید قادر به پاسخگویی مؤثر به شرایط شکست باشد. این شرایط ممکن است شکست‌های ارتباطاتی در شبکه بین پیش‌رانه‌های عملکرد سرویس^۴، شکست SFF یا شکست SFها باشند که توسط تکنیک‌های معماری بررسی نمی‌شوند. این راه‌حل‌ها می‌توانند آنچه آن‌ها نیاز دارند و آنچه آن‌ها را مجاز به بررسی شکست می‌کند را توصیف کنند.

اگر SFF قادر به معرفی جانشین برای انجام این کار باشد، راه‌حل‌ها می‌توانند ویژگی‌های انعطاف‌پذیری از مسیرهای توابع سرویس^۵ را استفاده کنند. همچنین، برای شکست SFها، متعادل‌کننده‌های بار می‌توانند استفاده شوند. با این حال، مکانیسم‌های مدیریتی ماشین‌های مجازی، خارج از محدوده این معماری است. این راه‌حل‌ها می‌توانند با توصیف اینکه چگونه مکانیسم‌های مقیاس‌گذاری را استفاده

جدید است؛ یعنی SFC یک طرح کنترل سرویس، شامل دنباله‌ای از سرویس‌های در حال اجرا است که در لایه‌های ۴ تا ۷ شبکه عمل می‌کند [۱].

در سال‌های اخیر با توجه به رشد روزافزون شبکه‌های نرم‌افزار محور و اهمیت مجازی‌سازی در آن تحقیقاتی زیادی برای زنجیربندی سرویس‌های شبکه انجام شده است. در همین راستا لی و همکاران [۲]، به بررسی اجمالی روشی به نام زنجیره سرویس امنیتی^۱، برای ارائه توابع امنیتی در توپولوژی SDN / NFV با زنجیر شدن سرویس‌های امنیتی مجازی، مانند متعادل‌کننده‌بار مجازی و فایروال‌های مجازی پرداختند ولی راجع به بررسی صحت زنجیره کاری انجام نشد. در برخی مطالعات زنجیربندی سرویس شبکه^۲ توجه زیادی را به خود جلب کرده است به‌طوری‌که ولفگانگ و همکاران [۳] به بررسی NSC پرداختند و اشاره کردند که این زنجیره یک مفهوم گسترش سرویس است که باعث افزایش انعطاف‌پذیری و بهره‌وری هزینه برای شبکه‌های آینده می‌شود. این مقاله قواعد و نیازمندی‌های سیستم را در کنار موارد کاربردی از مزایای NSC نشان می‌دهد و همچنین چالش‌های تحقیقاتی برجسته در طول چرخه زندگی نمونه‌ای از یک زنجیربندی سرویس شبکه در یک شبکه ارتباطات از راه دور را شرح می‌دهد و صحت زنجیره باید توسط کاربر چک شود.

هسته معماری SFC الگوریتم هم‌نواپی است که مسئولیت نهایی آن ساخت و شبکه کردن منابع است. SFC پتانسیل بسیار زیادی برای تغییر مسیر شبکه دارد و دارای مزایای زیادی از جمله: کنترل مرکزی شبکه، الگوریتم‌های ساده، صرفه‌جویی و بهینه شدن تجهیزات شبکه و حذف دستگاه‌های میانی است. در این شبکه‌ها ترافیک برای عبور و پردازش به‌وسیله دنباله مرتب از سرویس‌ها انجام می‌شود که باید این زنجیره‌ها به‌دقت بررسی و پردازش شوند [۴].

به دنبال ارائه معماری برای زنجیره سرویس، بلندین و همکاران [۵]، یک مفهوم سطح بالا برای زنجیره سرویس با استفاده SDN، در یک محیط مخابراتی ارائه کردند. در این مطالعه در مورد قواعد، ویژگی‌ها، چالش‌ها و جنبه‌های پیاده‌سازی بستر آزمایشی و آزمون چنین رویکردی بحث می‌شود. در نهایت، مجموعه‌ای از توابع سرویس و روابط

⁴ Service Function Forwarder

⁵ Service Function Paths

¹ Secure Service Chain

² Network Service Chaining

³ Service Function

ماژول‌ها اجرا شود. به‌منظور رسیدن به پتانسیل کامل در شبکه باید ایده‌های انتزاعی مناسب‌تر سطح بالا را، برای ایجاد زنجیره‌های مناسب شناسایی کرد. ساختار زنجیرها می‌توانند به‌صورت پیمانی یا ماژولی طراحی شوند بنابراین ترکیب آن‌ها با دیگر مؤلفه‌ها، ایجاد رویه‌های پیچیده‌تر را امکان‌پذیر می‌کند [۴].

شبکه‌ها، سرورها و برنامه‌های کاربردی همه در سال‌های اخیر با استفاده گسترده از فن‌آوری‌های مجازی‌سازی تحت تغییرات قابل‌توجهی قرار گرفته است. باین‌حال، گسترش خدمات حیاتی تا حد زیادی بدون تغییر باقی‌مانده است و همچنان به‌صورت یک چالش پیچیده‌ای است که به‌طور قابل‌توجهی هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌ای را برای اپراتورهای شبکه افزایش می‌دهد. SFC با به‌کارگیری سرویس‌های مرکب ساخته‌شده از یک یا چند عملکرد سرویس با استفاده از SDN و فن‌آوری مجازی‌سازی شبکه به حل این مشکل می‌پردازد.

در همین راستا در مطالعه‌ای که توسط اوه و همکاران [۷] انجام گردید مجازی‌سازی شبکه به‌منظور استفاده بهتر از منابع شبکه و مدیریت راحت‌تر شبکه‌های معمولی بکار برده شد. در این تحقیق ماشین‌های مجازی ایجادشده توسط سرویس‌های مجازی‌سازی، جریان شبکه را از طریق مجموعه‌ای از ماشین‌های مجازی به سرویس‌های موردنیاز ارسال می‌کنند ولی در جهت کاهش تعداد ترکیبات سرویس‌ها کاری انجام نشده است.

در مطالعه دیگری که توسط مهرآقام و همکاران [۸] بر روی مجازی‌سازی انجام شد، وظایف مختلف در یک شبکه به‌عنوان بخش مهمی از یک شبکه اپراتور معرفی گردید. به‌طوری‌که مجموعه‌ای از زنجیره توابع شبکه، فرآیند شبکه را به جریان می‌اندازد. این محققین برای رسمیت بخشیدن به مجازی‌سازی توابع شبکه از یک‌زبان مستقل از متن برای تعریف قواعد استفاده می‌کنند به‌طوری‌که پردازش درخواست استقرار و ساخت گراف در تابع شبکه مجازی می‌تواند به شبکه‌های نگاشت شده تبدیل گردد ولی زنجیره‌های صحیح باید توسط کاربر از قبل مشخص شوند. یکی از پیشرفت‌های اخیر در صنعت برای زنجیربندی عملکرد شبکه، استفاده از تعریف جدید هدرها توسط SFC

کنند، کمک‌کننده باشند که این کار نیازمند تعریف قواعد است [۱].

کوئین و نادنا در تحقیق خود [۴]، قواعدی را در ارتباط با به‌کارگیری توابع سرویس (مانند فایروال‌ها، بالانس‌کننده‌های بار و غیره) در محیط‌هایی در مقیاس بزرگ ارائه کردند. به‌طوری‌که اصطلاح «زنجیربندی عملکرد سرویس» برای توصیف و تعریف و نمونه‌سازی از یک لیست مرتب از نمونه‌های توابع سرویس و پس‌از آن برای دنباله‌ای از جریان ترافیک از طریق توابع سرویس معرفی شد. مجموعه‌ای از SFCها، اپراتور ارائه سرویس را تحت تأثیر قرار می‌دهند که برای رابطه با نرم‌افزار، سرویس و سیاست شبکه طراحی شده است. این سند همچنین چندین زمینه کلیدی از SFC با کارکرد گروهی را نشان می‌دهد و برای معماری آن اسنادی را ارائه می‌کند در حالی که هیچ روشی برای اعمال این قواعد ارائه نمی‌شود.

به دنبال آن هالپرن و پیگناتارو در [۱۱] در مورد یک معماری برای مشخصات، ایجاد، تعمیر و نگهداری مداوم SFC در یک شبکه بحث کردند که شامل مفاهیم معماری، اصول، قواعد و مؤلفه‌های بکار رفته در ساخت‌وساز سرویس‌های مرکب از طریق استقرار SFCها با تمرکز بر روی استانداردسازی در نیروی کار مهندسی اینترنت^۱ است ولی هیچ روشی برای اعمال قواعد معرفی نکرده‌اند.

پشتیبانی از رویه‌ها با نقش‌های اختیاری و سفارشی‌سازی قواعد برای شبکه SFC بسیار ضروری است. این قواعد، مجموعه‌ای از ایده‌های انتزاعی قدرتمند برای ایجاد زنجیرهای کنترل‌کننده در شبکه‌های SFC عرضه می‌کنند. سیستم این ایده‌ها را اجرا کرده و مطمئن می‌شود زنجیره‌های نوشته‌شده به‌طور کارآمدی عمل می‌کنند؛ بنابراین تعریف گرامر می‌تواند ایده‌های انتزاعی را برای بروز کردن ساختاربندی کلی شبکه عرضه کند.

این ایده‌ها به کاربران امکان می‌دهد تا شبکه را بدون نصب دستی با نصب قواعد و قوانین بر طبق سرویس‌های موجود مجدداً ساختاربندی کنند. همچنین شبکه‌ها وظایفی مانند مسیریابی، نظارت و کنترل دستیابی را به‌صورت مستقل با استفاده از ماژول‌های جداگانه اجرا می‌کنند بنابراین ساخت و ترکیب رویه‌ها در یک شیوه پیمانی (ماژولی) به کمک گرامر باعث می‌شود که ماژول به‌درستی و مستقل از دیگر

^۱ Internet Engineering Task Force

چالش‌های خدماتی از قبیل پشتیبانی در مقیاس بزرگ و بهبود لایه زیرین، قواعدی را در این شبکه تعریف می‌کند ولی در جهت کاهش تعداد ترکیبات کاری انجام نشد.

مهرآقدام و همکاران [۱۳] عنوان می‌کنند که خدمات ابر توزیع شده معمولاً با زنجیری شدن تعدادی از توابع سفارشی شده مشخص می‌شود. آن‌ها می‌توانند ساختارهای پیچیده را بین مسیرها توسط انواع خاصی از جریان‌ها ایجاد کنند. این الزامات نیازمند تعریف قواعد خاصی بوده که مبتنی بر گراف است. در این مقاله گرامر مستقل از متن، برای توصیف انتزاعی عملکرد ساختارها و نحوه ایجاد آن‌ها بر اساس زبان مدل‌سازی داده‌ها بیان شده که به راحتی می‌تواند به یک پیکربندی صریح و روشن از توابع سرویس ترجمه گردد ولی صحت زنجیره‌ها از قبل باید توسط کاربر بررسی شود. سحاف و همکاران [۱۴]، مشکل چگونگی تجزیه بهینه سرویس‌های شبکه را بررسی کردند. آن‌ها به‌طور خاص، پیشنهاد می‌کنند از دو الگوریتم برای نگاشت NSC‌ها در زیرساخت‌های شبکه استفاده شود. اولین الگوریتم ILP است که هزینه‌های نگاشت بر اساس NSC-های موردنیاز و قابلیت‌های زیرساخت را به حداقل می‌رساند و دومی یک الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله مقیاس‌پذیری است که باعث کاهش تعداد حالات نگاشت می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که توجه به تجزیه سرویس‌های شبکه در زمان تعبیه، باعث بهبود قابل توجهی در عملکرد و کاهش هزینه نگاشت در درازمدت در هر دو راه‌حل بهینه و اکتشافی می‌شود ولی در خصوص بررسی صحت زنجیره کاری انجام نشده است.

مهرآقدام و همکاران [۱۵] یک‌راه حل ابتکاری را بیان نموده‌اند که انتخاب یک مجموعه از ترکیبات، ممکن است از یک سرویس و یا از سرویس‌های مختلف با توجه به منابع مورد نیاز توصیف گردد. ارزیابی آن‌ها نشان می‌دهد که ترکیب انتخاب شده، نمونه‌ای از ساختارهای ممکن و الزامات است که می‌تواند به صورت بهینه در شبکه قرار گیرد درحالی که صحت زنجیره‌ها باید از قبل توسط کاربر چک شود. برخی از مسائل دارای پیچیدگی محاسباتی زیادی هستند که از آن جمله می‌توان به مسائل زمانبندی تولید کارگاهی [۱۶]، مکان یابی بانک‌ها [۱۷]، بهینه‌سازی سبد سهام [۱۸] و مسئله جایابی سرویس‌ها در SFC [۱۹] اشاره

در گروه کاری IETF برای رسیدن به وظایف نظارتی خاص و جدید که با روش‌های موجود امکان‌پذیر نیست، است. در مقاله‌ای که توسط شیرازی پور و همکاران [۹] انجام شد، دو زمینه فعالیت در این راستا ارائه شده است. به طوری که آن‌ها ابتدا یک معماری که قادر به انجام نظارت واحد در سراسر شبکه ابری و مرزهای فیزیکی و مجازی است را پیشنهاد کردند و سپس، بر اساس اطلاعات لایه‌های ۴ تا ۷، مکانیسم نظارتی جدید که برای ترافیک NFV قابل اجرا است را ارائه کردند ولی در زمینه کاهش تعداد ترکیبات ایجاد شده کاری انجام نشد.

از دیگر فعالیت‌ها در زمینه زنجیربندی عملکرد شبکه، ارائه الگوریتم انتخاب سرویس است. مدهت و همکاران [۱۰]، یک الگوریتم انتخاب تابع سرویس جدید ارائه کردند که بین انتخاب مسیر و باری که باید منتقل شود رقابت انعطاف‌پذیری فراهم می‌کند. رقابت انعطاف‌پذیر ارائه شده در الگوریتم را می‌توان توسط یک پارامتر تنظیم کرد. این روش با دیگر الگوریتم‌های موجود مانند، توازن بار و کوتاه‌ترین مسیر مقایسه شده است. در این مطالعه نشان داده شد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند بهترین SFP پایان به پایان عملکرد راه دور را به عنوان الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر برای زمان واقعی سرویس / برنامه‌های کاربردی فراهم کند. علاوه بر این، الگوریتم پیشنهادی یک توزیع بار قابل قبول بیش از توابع سرویس در دسترس و بهتر از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر و الگوریتم‌های متعادل‌کننده بار فراهم می‌کند ولی هیچ راهکاری در جهت کاهش تعداد ترکیبات سرویس‌ها مطرح نشد. لوزلی و همکاران در مقاله خود [۱۱] یک‌راه حل رسمی برای جایابی توابع شبکه و مشکل زنجیربندی با ارائه مدل برنامه‌ریزی خطی صحیح^۱ ارائه کردند. علاوه بر این، در این کار به منظور مقابله با تعداد حالات زیاد ناشی از ترکیب سرویس‌های شبکه، یک روش اکتشافی و نزدیک به بهینه برای هدایت مؤثر ILP و حل عملی آن، پیشنهاد شد ولی صحت زنجیره باید از قبل توسط کاربر بررسی شود. نا و کیم در مقاله‌ای [۱۲] در مورد چگونگی هم‌نوایی SFC با توزیع شبکه ابری ماشین‌های مجازی بحث کردند. این کار با معرفی یک ابزار خودکار برای SFC مبتنی بر گراف بر روی زیرساخت‌های مبتنی بر شبکه ابری است. در این مقاله برای برآورده کردن

¹ Integer Linear Programming

ساخته شده از SFها هستند که هر توالی نشان دهنده یک SFC است. در سطح بالاتر، یک SFC نمایش انتزاعی از یک سرویس است که مجموعه مورد نیاز SFها و نیز ترتیبی را مشخص می کند که آنها باید اجرا شوند. هر گره زنجیر، حضور ضروری حداقل یک SF انتزاعی را نشان می دهد. این گره های گراف (SFها) می توانند بخشی از یک یا بسیاری از SFCها باشند. هر گره معین (SF) گراف می تواند یک یا چندین بار در SFC داده شده ظاهر شود. در اکثر شبکه ها، سرویس ها به عنوان توالی انتزاعی ساخته شده از SFها هستند که نشان دهنده SFC است. در یک سطح بالاتر، یک SFC یک نمایش انتزاعی از یک سرویس است که مجموعه مورد نیاز SFها و نیز ترتیبی را مشخص می کند که آنها باید اجرا شوند. هر گره گراف، حضور ضروری حداقل یک SF انتزاعی را نشان می دهد [۱].

۳- گرامر پیشنهادی زنجیربندی عملکرد

سرویس

مفهوم زبان رسمی همراه با مواردی مانند الفبای، کلمه یا رشته ها تعریف شده است. عملیات در زبان، مانند اتحاد، تقاطع، مکمل و تلفیق مشخص است. مفهوم دستور زبان و ارتباط آن با زبان رسمی با استفاده از طبقه بندی چامسکی بوجود می آید [۲۰] که شامل: منظم، مستقل از متن، حساس به متن و بدون محدودیت است. عبارت منظم^۳ به عنوان یک روش برای توصیف یا نشان دادن زبان های منظم ارائه می شوند. دو مدل های مختلف از اتوماتان متناهی^۴ وجود دارد که این نوع زبان ها را تشخیص می دهند [۲۰] که شامل: اتوماتان متناهی قطعی^۵ و اتوماتان متناهی غیرقطعی^۶ است. در این حوزه عبارت منظم، اتوماتان متناهی و گرامر منظم هم ارز می باشند [۲۰]. در IETF سناریوهایی برای زنجیربندی عملکرد سرویس ارائه شده است. از جمله مهم ترین این سناریوها می توان به شبکه مرکز داده^۷ [۲۱]، شبکه موبایل^۸ [۲۲] و شبکه امنیتی^۹ [۲۳] اشاره کرد که نحوه چیدمان سرویس های مهم در این سناریوها معرفی شده است و برای ساخت گرامر زنجیربندی عملکرد سرویس از این سناریوها استفاده می شود. زبان های منظم زیرمجموعه ای از زبان های

کرد. همه آنها از دسته مسائل NP^۱ هستند و مسئله جایابی سرویس ها در SFC برای کاهش حجم محاسباتی نیازمند کاهش تعداد ترکیبات سرویس ها می باشد. با توجه به بررسی کارهای انجام شده، SFC نیازمند بررسی صحت زنجیره های ایجاد شده و همچنین کاهش تعداد ترکیبات سرویس های مختلف شبکه است. هدف از این مقاله ارائه یک گرامر برای زنجیربندی عملکرد سرویس در شبکه های نرم افزار محور است که می تواند در جهت بررسی صحت زنجیره های ایجاد شده و کاهش تعداد ترکیبات سرویس های مختلف در شبکه بکار رود. برای انجام این کار باید بر مبنای سناریوهای مطرح شده در نیروی کار مهندسی اینترنت ابتدا اتوماتان آنها را ایجاد کرده و سپس با استفاده از عبارت منظم و اتوماتان متناهی، گرامر آنها به دست می آید. به دنبال آن، با استفاده از الگوریتم CYK^۲ ارزیابی گرامر انجام شده و تعداد ترکیبات سرویس های زنجیره نیز بررسی می شود.

این مقاله شامل بخش های زیر است: بخش اول شامل معرفی برخی فعالیت های انجام شده در این زمینه و بیان مسئله است. بخش دوم به معرفی زنجیره عملکرد سرویس در شبکه های نرم افزار محور می پردازد. بخش سوم با فرض آشنایی خواننده با اصول اولیه زبان ها و تئوری اتوماتاها، به طراحی اتوماتان و اتوماتان متناهی و گرامر زنجیربندی عملکرد سرویس می پردازد. بخش چهارم شامل نتایج آزمایشات و ارزیابی آنها است؛ و در بخش پنجم تحلیل و بررسی نتایج و در آخر نتیجه گیری آورده شده است.

۲- زنجیربندی عملکرد سرویس

یک زنجیره عملکرد سرویس، مجموعه ای منظم و سفارشی از توابع انتزاعی سرویس و محدودیت های سفارشی است که باید برای بسته ها، فریم ها و جریان های انتخاب شده بکار برده شود. ترتیب به کاررفته ممکن است که یک توالی خطی باشد ولی معماری اجازه می دهد که SFCها در بیش از یک شاخه کپی شوند و نیز در مواردی که انعطاف پذیری وجود دارد اجازه می دهد که آنها به ترتیبی که توابع سرویس نیاز دارند بکار برده شوند. در اکثر شبکه ها، سرویس ها به عنوان توالی انتزاعی

⁶ Non-Deterministic Finite Automaton

⁷ Data Center Network

⁸ Mobile Network

⁹ Security Network

¹ Nondeterministic Polynomial time

² Cocke-Younger-Kasami

³ Regular Expression

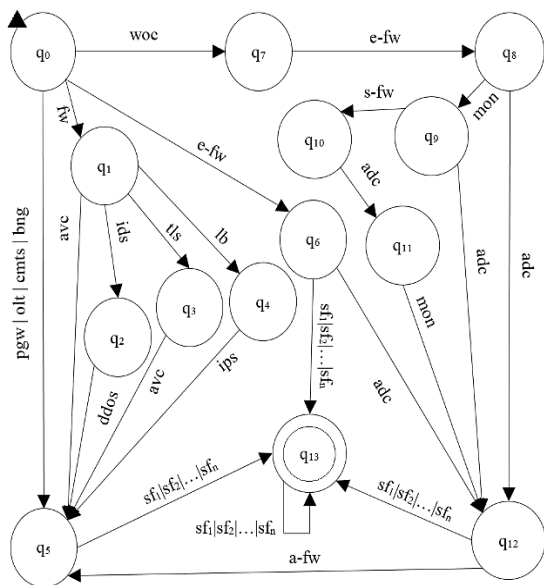
⁴ Finite Automaton

⁵ Deterministic Finite Automaton

$exp_{security}$ عبارت منظم exp_{GSFC} شکل می‌گیرد.

$$exp_{GSFC} = exp_{security} + exp_{mobile} + exp_{datacenter} \quad (۴)$$

آتوماتان پیشنهادی معادل عبارت منظم exp_{GSFC} یک پنج‌تایی به صورت $M = (Q, \Sigma, \delta, s, F)$ است که Q مجموعه متناهی از وضعیت‌های داخلی شامل $\{q_0, q_1, q_2, q_3, \dots, q_{13}\}$ مجموعه تمام سرویس‌های موجود در زنجیره عملکرد سرویس و δ مجموعه توابع انتقال از وضعیت‌های داخلی و $s = q_0$ وضعیت آغازین و $F = \{q_{13}\}$ مجموعه وضعیت‌های پایانی است. برای تبدیل عبارت منظم به آتوماتان متناهی از الگوریتم درخت فشرده آتوماتان^۱ استفاده شده است [۲۴].



شکل ۱- آتوماتان متناهی پیشنهادی

شکل (۱) ساختار آتوماتان متناهی قطعی پیشنهادی را نشان می‌دهد. در این ساختار وضعیت‌های $\{q_0, q_5, q_{13}\}$ برای شبکه موبایل، وضعیت‌های $\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5\}$ برای شبکه مرکز داده و وضعیت‌های $\{q_0, q_5, q_6, q_7, q_8, q_9, q_{10}, q_{11}, q_{12}, q_{13}\}$ برای شبکه امنیتی می‌باشد. گرامر منظم معادل آتوماتان متناهی M معادل چهارتایی $G = (V_G, \Sigma_G, S_G, R_G)$ است که V_G مجموعه الفبا شامل نمادهای پایانی‌ها^۲ و غیرپایانی‌ها^۳ می‌باشد که $V_G = \{ T, Mo, D, Se, X, Y, Z, W, sf_1, \dots, sf_n \}$ و Σ_G مجموعه نمادهای پایانی معادل تمام

فرمال می‌باشند. این زبان‌ها با عبارت‌های منظم ساخته و توسط ماشین حالت متناهی معین پذیرفته می‌شوند. عبارات منظم مجموعه‌ای از نمادها و عملگرها می‌باشد که با اعمال عملگرها روی مجموعه نمادها، رشته‌ها تشکیل می‌شوند.

فرض کنید L یک زبان فرمال باشد که مجموعه الفبای آن، $\Sigma = \{sf_1, sf_2, \dots, sf_n\}$ است و sf_i ها از مجموعه سرویس‌ها مشتمل بر $\{pgw, bng, olt, cmts, fw, tls, avs, ids, lb, ips, ddos, a-fw, mon, adc, s-fw, woc, e-fw, \dots\}$ انتخاب می‌شوند. تمامی رشته‌های این زبان بفرم Σ^* قابل تولید می‌باشند. با در نظر گرفتن استاندارد IETF زبان L_{SFC}^{mobile} شکل می‌گیرد که L_{SFC}^{mobile} زبان منظم برای شبکه موبایل، $L_{SFC}^{datacenter}$ زبان منظم برای شبکه مرکز داده و $L_{SFC}^{security}$ زبان منظم برای شبکه امنیتی خواهد بود که هر یک زیر مجموعه L_{SFC} هستند.

عبارات منظم تولید شده با زبان L_{SFC}^{mobile} برای شبکه موبایل به صورت رابطه ۱، عبارات منظم تولید شده با زبان $L_{SFC}^{datacenter}$ برای شبکه مرکز داده به صورت رابطه ۲، و عبارات منظم تولید شده با زبان $L_{SFC}^{security}$ برای شبکه امنیتی به صورت رابطه ۳ خواهد بود. در این رابطه‌ها * به معنای حداقل تکرار صفر و + به معنای عملگر OR است. همچنین عبارات پشت سر هم AND می‌شوند و بقیه اصطلاحات در جدول انتهای مقاله معرفی شده است.

$$exp_{mobile} = (pgw + bng + olt + cmts) (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n) (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n)^* \quad (۱)$$

$$exp_{datacenter} = e-fw ((sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n) (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n)^* + adc ((sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n) (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n)^* + a-fw ((sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n) (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n)^*))) + woc e-fw (adc a-fw (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n) (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n)^* + mon (adc a-fw (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n) (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n)^* + s-fw adc mon a-fw (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n) (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n)^*)) \quad (۲)$$

$$exp_{security} = (fw lb ips + fw tls avs + fw ids ddos + fw avs) (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n) (sf_1 + sf_2 + \dots + sf_n)^* \quad (۳)$$

با ترکیب سه عبارت منظم exp_{mobile} ، $exp_{datacenter}$ و

³ Non-terminals

¹ Tree Compression Automaton

² Terminals

$R_G(6)$, $R_G(7)$ و $R_G(8)$ ساختاری جهت ایجاد حالت چرخه برای تولید سرویس‌های مختلف و انواع سرویس‌های موجود در زنجیربندی عملکرد سرویس نشان داده شده است.

در این بخش با استفاده از سه سناریو شبکه موبایل، شبکه مرکز داده و شبکه امنیت، گرامر منظمی برای تشکیل زنجیربندی عملکرد سرویس پیشنهاد گردید. در روش پیشنهادی از ایجاد زنجیره عملکرد سرویس‌هایی که از استاندارد IETF تبعیت نمی‌کنند جلوگیری می‌گردد. در ادامه به ارزیابی گرامر پیشنهادی پرداخته خواهد شد.

۴- نتایج آزمایشات و ارزیابی آن‌ها

یک زبان فرمال منظم است اگر و فقط اگر توسط یک گرامر منظم تولید شود [۲۰]. همانطور که گفته شد آتاماتان متناهی M برای زبان منظم L_{SFC} با الگوریتم درخت فشرده آتاماتان ساخته شد. زبان L_{SFC} منظم است اگر نشان داده شود گرامر G با ماشین آتاماتان متناهی M معادل است [۲۰]. در حالت اول باید نشان دهیم گرامر حاصل از ماشین آتاماتان متناهی M ، معادل گرامر G خواهد بود. فرض کنید G_1 چهارتایی شامل $(V_{G_1}, \Sigma_{G_1}, S_{G_1}, R_{G_1})$ گرامر حاصل از ماشین آتاماتان متناهی M باشد. نشان داده می‌شود که G_1 معادل G است. Σ_{G_1} برابر Σ ، V_{G_1} برابر $\Sigma \cup Q$ ، S_{G_1} برابر q_0 و R_{G_1} برابر با مجموعه قوانین به فرم زیر خواهد بود،

$$R_{G_1} = \left\{ \begin{array}{ll} A \rightarrow \omega B & \text{for all } (A, \omega, B) \in \delta \\ A \rightarrow \varepsilon & \text{for all } A \in F \end{array} \right\} \quad (5)$$

با توجه به تعریف گرامر G_1 مجموعه Σ_{G_1} برابر مجموعه سرویس‌های $\{sf_1, sf_2, \dots, sf_n\}$ می‌باشد که با Σ_G از گرامر G یکی است. از سویی S_G برابر $\{T\}$ می‌باشد که معادل حالت q_0 در ماشین M و معادل S_{G_1} از گرامر G_1 خواهد بود. همچنین $V_{G_1} = \{q_0, q_1, \dots, q_{13}, sf_1, sf_2, \dots, sf_n\}$ که برابر $Q \cup \Sigma$ از ماشین M است. مجموعه نمادهای غیرپایانی $\{q_0\}$ ، $\{q_6, q_7, q_8, q_9, q_{10}, q_{11}, q_{12}\}$ ، $\{q_1, q_2, q_3, q_4, q_5\}$ و $\{q_{13}\}$ در V_{G_1} به ترتیب معادل مجموعه نمادهای غیرپایانی $\{X\}$ ، $\{Y\}$ ، $\{Z\}$ و $\{W\}$ و $\{T, Mo, D, Se\}$ در V_G گرامر G می‌باشند و مجموعه‌ی نمادهای پایانی دو گرامر با هم یکسان است. R_{G_1} مجموعه قوانین گرامر G_1 براساس رابطه ۵ به فرم زیر جدول ۲ است.

سرویس‌های موجود در زنجیره عملکرد سرویس، $\Sigma_G = \{T\}$ ، $\{sf_1, sf_2, \dots, sf_n\}$ ، S_G نماد شروع گرامر که برابر $\{T\}$ می‌باشد و R_G معادل مجموعه قوانین بشرح جدول ۱ است.

جدول ۱- گرامر منظم پیشنهادی G برای زنجیربندی عملکرد سرویس

شماره	قانون
$R_G(1):$	$T \rightarrow Mo / D / Se$
$R_G(2):$	$M \rightarrow pgw X / bng X / olt X / cmts X$
$R_G(3):$	$D \rightarrow e-fw Y / e-fw adc Y / e-fw adc a-fw Y / woc e-fw adc Y / woc e-fw adc a-fw Y / woc e-fw mon adc a-fw Y / woc e-fw mon s-fw adc mon Y / woc e-fw mon s-fw adc mon a-fw Y$
$R_G(4):$	$Se \rightarrow fw lb ips Z / fw tls avc Z / fw ids ddos Z / fw avc Z$
$R_G(5):$	$X \rightarrow W$
$R_G(6):$	$Y \rightarrow W$
$R_G(7):$	$Z \rightarrow W$
$R_G(8):$	$W \rightarrow sf_1 W / sf_2 W \dots sf_n W / sf_1 / sf_2 \dots sf_n$

جدول ۲- مجموعه قوانین گرامر G_1 برای زنجیربندی عملکرد سرویس

شماره	قانون
$R_{G_1}(1):$	$q_0 \rightarrow pgw q_5 / olt q_5 / bng q_5 / cmts q_5$
$R_{G_1}(2):$	$q_0 \rightarrow woc q_7 / e-fw q_6$
$R_{G_1}(3):$	$q_0 \rightarrow fw q_1$
$R_{G_1}(4):$	$q_7 \rightarrow e-fw q_8$
$R_{G_1}(5):$	$q_8 \rightarrow mon q_9 / adc q_{12}$
$R_{G_1}(6):$	$q_9 \rightarrow adc q_{12} / s-fw q_{10}$
$R_{G_1}(7):$	$q_{10} \rightarrow adc q_{11}$
$R_{G_1}(8):$	$q_{11} \rightarrow mon q_{12}$
$R_{G_1}(9):$	$q_{12} \rightarrow a-fw q_5$
$R_{G_1}(10):$	$q_{12} \rightarrow sf_1 q_{13} / sf_2 q_{13} \dots sf_n q_{13}$
$R_{G_1}(11):$	$q_{13} \rightarrow sf_1 q_{13} / sf_2 q_{13} \dots sf_n q_{13} / \varepsilon$
$R_{G_1}(12):$	$q_1 \rightarrow tls q_2 / lb q_3 / ids q_4 / avc q_5$
$R_{G_1}(13):$	$q_2 \rightarrow avc q_5$
$R_{G_1}(14):$	$q_3 \rightarrow ips q_5$
$R_{G_1}(15):$	$q_4 \rightarrow ddos q_5$
$R_{G_1}(16):$	$q_5 \rightarrow sf_1 q_{13} / sf_2 q_{13} \dots sf_n q_{13}$
$R_{G_1}(17):$	$q_6 \rightarrow sf_1 q_{13} / sf_2 q_{13} \dots sf_n q_{13}$

در قانون $R_G(1)$ می‌توان یکی از سه شبکه موبایل، مرکز داده و امنیت را انتخاب کرد. در قانون $R_G(2)$ ، $R_G(3)$ و $R_G(4)$ نحوه ایجاد زنجیره سرویس برای شبکه موبایل، مرکز داده و امنیت را نشان می‌دهد. در قانون $R_G(5)$

جدول ۵ - تناظر بین مجموعه قوانین دو ماشین M و M_1

قوانین ماشین M_1	قوانین ماشین M
(T, λ, M) (T, λ, D) (T, λ, Se)	(q_0, λ, q_0)
(Mo, pgw, X) (Mo, bng, X) (Mo, olt, X) $(Mo, cmts, X)$	(q_0, pgw, q_5) (q_0, olt, q_5) (q_0, bng, q_5) $(q_0, cmts, q_5)$
$(D, e-fw, Y)$	$(q_0, e-fw, q_6)$
$(D, e-fw adc, Y)$	$(q_0, e-fw, q_6)$ (q_6, adc, q_{12})
$(D, e-fw adc a-fw, Y)$	$(q_0, e-fw, q_6)$ (q_6, adc, q_{12}) $(q_{12}, a-fw, q_5)$
$(D, woc e-fw adc, Y)$	(q_0, woc, q_7) $(q_7, e-fw, q_8)$ (q_8, adc, q_{12})
$(D, woc e-fw adc a-fw, Y)$	(q_0, woc, q_7) $(q_7, e-fw, q_8)$ (q_8, adc, q_{12}) $(q_{12}, a-fw, q_5)$
$(D, woc e-fw mon adc a-fw, Y)$	(q_0, woc, q_7) $(q_7, e-fw, q_8)$ (q_8, mon, q_9) (q_9, adc, q_{12}) $(q_{12}, a-fw, q_5)$
$(D, woc e-fw mon s-fw adc mon, Y)$	(q_0, woc, q_7) $(q_7, e-fw, q_8)$ (q_8, mon, q_9) $(q_9, s-fw, q_{10})$ (q_{10}, adc, q_{11}) (q_{11}, mon, q_{12})
$(D, woc e-fw mon s-fw adc mon a-fw, Y)$	(q_0, woc, q_7) $(q_7, e-fw, q_8)$ (q_8, mon, q_9) $(q_9, s-fw, q_{10})$ (q_{10}, adc, q_{11}) (q_{11}, mon, q_{12}) $(q_{12}, a-fw, q_5)$
$(Se, fw lb ips, Z)$	(q_0, fw, q_1) (q_1, lb, q_3) (q_3, ips, q_5)
$(Se, fw tls avc, Z)$	(q_0, fw, q_1) (q_1, tls, q_2) (q_2, avc, q_5)
$(Se, fw ids ddos, Z)$	(q_0, fw, q_1) (q_1, ids, q_4) $(q_4, ddos, q_5)$
$(Se, fw avc, Z)$	(q_0, fw, q_1) (q_1, avc, q_5)
(X, λ, W)	(q_5, λ, q_5)
(Y, λ, W)	(q_5, λ, q_5) (q_6, λ, q_6) $(q_{12}, \lambda, q_{12})$
(Z, λ, W)	(q_5, λ, q_5)
$(W, sf_i, W), i=1, \dots, n$	$(q_5, sf_i, q_{13}), i=1, \dots, n$ $(q_6, sf_i, q_{13}), i=1, \dots, n$ $(q_{12}, sf_i, q_{13}), i=1, \dots, n$ $(q_{13}, sf_i, q_{13}), i=1, \dots, n$

با توجه به قوانین گرامر G_1 و قوانین گرامر G تناظر بین این قوانین در جدول ۳ نشان داده شده است.

بنابراین با توجه به جدول ۳ نشان داده شد، G_1 گرامر حاصل از ماشین آتوماتان متناهی M با گرامر G معادل است.

جدول ۳- تناظر بین قوانین دو گرامر G_1 و G

R_{G_1} قوانین گرامر G_1	R_G قوانین گرامر G
$R_{G_1}(16), R_{G_1}(11), R_{G_1}(1)$	$R_G(2), R_G(1)$ $R_G(8), R_G(5)$
$R_{G_1}(13), R_{G_1}(12), R_{G_1}(11), R_{G_1}(3)$ $R_{G_1}(16), R_{G_1}(15), R_{G_1}(14)$	$R_G(3), R_G(1)$ $R_G(8), R_G(6)$
$R_{G_1}(6), R_{G_1}(5), R_{G_1}(4), R_{G_1}(2)$ $R_{G_1}(10), R_{G_1}(9), R_{G_1}(8), R_{G_1}(7)$ $R_{G_1}(17), R_{G_1}(11)$	$R_G(4), R_G(1)$ $R_G(8), R_G(7)$

جدول ۴ - تناظر بین دو مجموعه Q_1 و Q از دو ماشین M_1 و M

M	
نماد در Q_1 از ماشین M_1	نماد در Q از ماشین M
T, Mo, D, Se	q_0
X	q_5
Y	$q_{10}, q_9, q_8, q_7, q_6, q_5$ q_{12}, q_{11}
Z	q_5, q_4, q_3, q_2, q_1
W	q_{13}

در حالت دوم باید نشان داد اگر زبان L حاصل از گرامر منظم G باشد آنگاه آن زبان منظم است. به عبارتی بایستی ماشین آتوماتان متناهی‌ای که زبان L را می‌پذیرد با ماشین آتوماتان متناهی M برابر باشد. فرض کنید زبان L توسط گرامر منظم $G = (V_G, \Sigma_G, S_G, R_G)$ تولید شود، ماشین آتوماتان متناهی‌ای که زبان L را بپذیرد با $Q_1 = (Q_1, \Sigma_1, \delta_1, S_1, F_1)$ نشان داده شود که M_1 مجموعه متناهی از وضعیت‌های داخلی ماشین M_1 شامل سنبلیله‌های غیرپایانی گرامر G بانضمام یک حالت جدید f بفرم $Q_1 = V_G - \Sigma_G \cup \{f\}$ می‌باشد. مجموعه الفبای ورودی Σ_1 برابر Σ_G ، وضعیت آغازین S_1 برابر S_G ، F_1 مجموعه وضعیت‌های پایانی برابر $\{f\}$ است. و δ_1 برابر با مجموعه قوانین به فرم زیر خواهد بود،

$$\delta_1 = \left\{ \begin{array}{ll} (A, \omega, B) & \text{for all } A \rightarrow \omega B \in R_G \\ (A, \omega, f) & \text{for all } A \rightarrow \omega \in R_G \end{array} \right\} \quad (6)$$

IETF پرداخته می‌شود. جدول ۶ نحوه نام‌گذاری روش‌های مورد ارزیابی را نشان می‌دهد.

تعداد زنجیره‌های سرویس روش پیشنهادی ایجاد زنجیره عملکرد سرویس براساس گرامر شبکه‌های موبایل، مرکز داده و امنیت نسبت به حالتی که از گرامر استفاده نمی‌شود در شکل (۲) نشان داده شده است. در این شکل تعداد سرویس‌ها ۱۰ و طول زنجیره سرویس بین ۱ تا ۸ در نظر گرفته شده است. گرامر پیشنهادی شامل سه سناریو مختلف شبکه‌های موبایل، مرکز داده و امنیت می‌باشد که در ارزیابی گرامر پیشنهادی هر سناریو به صورت جداگانه و یکبارهم کل گرامر استفاده شده است.

جدول ۶- نحوه نام‌گذاری روش‌های مورد بررسی

نام روش	نماد
روش پیشنهادی زنجیربندی عملکرد سرویس مبتنی بر گرامر موبایل	WG-Mobile
روش پیشنهادی زنجیربندی عملکرد سرویس مبتنی بر گرامر مرکز داده	WG-Datacenter
روش پیشنهادی زنجیربندی عملکرد سرویس مبتنی بر گرامر امنیت	WG-Security
روش پیشنهادی زنجیربندی عملکرد سرویس مبتنی بر گرامر G شامل شبکه‌های موبایل، مرکز داده و امنیت	WG-Total
زنجیربندی عملکرد سرویس بدون گرامر	WOG

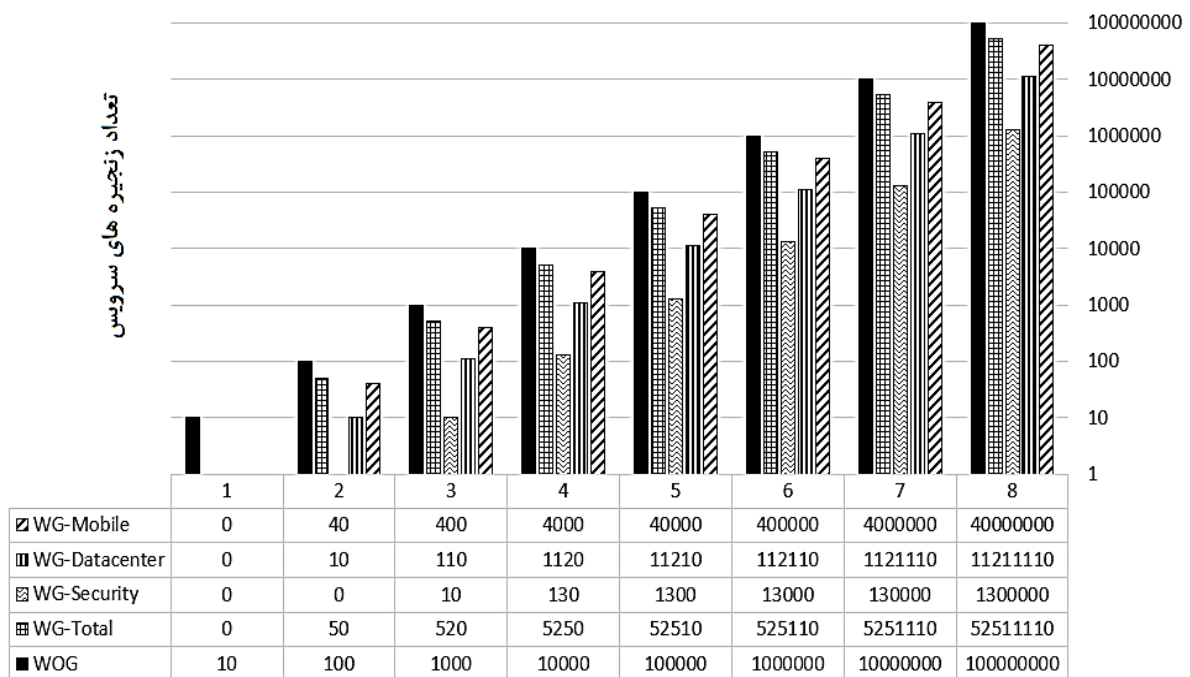
با توجه به تعریف ماشین آتاماتان متناهی M_1 مجموعه Σ_1 برابر مجموعه تمام سرویس‌های موجود در زنجیره عملکرد سرویس $\{sf_1, sf_2, \dots, sf_n\}$ می‌باشد که با Σ از ماشین M برابر است. از سوی S_1 معادل S_G برابر $\{T\}$ می‌باشد با در نظر گرفتن تناظر بین T و حالت q_0 در ماشین M دو مجموعه S_1 و S برابر خواهند بود.

F_1 وضعیت نهایی ماشین آتاماتان متناهی M_1 معادل $\{W\}$ بوده که با در نظر گرفتن تناظر بین W و حالت نهایی q_{13} در ماشین M با F برابر است. Q_1 مجموعه متناهی از وضعیت‌های داخلی ماشین M_1 شامل $\{T, Mo, D, Se, X, Y, Z, W\}$ می‌باشد، با ایجاد تناظر در جدول ۴، Q_1 از ماشین M_1 با Q از ماشین M برابر خواهد بود.

با در نظر گرفتن تناظر در جدول ۵، δ_1 مجموعه قوانین ماشین M_1 و δ مجموعه قوانین ماشین M نیز برابر خواهند بود. بنابراین نشان داده شد ماشین آتاماتان متناهی M_1 متناظر گرامر G معادل ماشین متناهی M می‌باشد. پس زبان L حاصل از گرامر G منظم بوده و معادل L_{SFC} خواهد بود.

۴-۱- بررسی تعداد زنجیره‌های عملکرد سرویس

در این بخش به بررسی تعداد زنجیره عملکرد سرویس‌های تولید شده با روش پیشنهادی مبتنی بر گرامر و استاندارد



شکل ۲- تعداد زنجیره‌های سرویس ایجاد شده برای ۱۰ سرویس با طول‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ برای روش‌های مختلف

Algorithm CYK

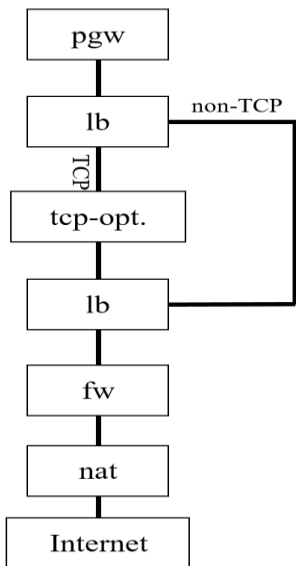
Input: String of consisting n SF: $a_1 \dots a_n$,
 RG with nonterminal symbols $R_1 \dots R_r$,
 with initial symbol R_1

Output: True or False

```

1 P[n,n,r] = false.
2 for s = 1 to n
3   for each unit production  $R_v \rightarrow a_s$ 
4     P[l,s,v] = true
5   end for
6 end for
7 for l = 2 to n // Length of span
8   for s = 1 to n-l+1 // Start of span
9     for p = 1 to l-1 // Partition of span
10      for production  $R_a \rightarrow R_b R_c$ 
11        if P[p,s,b] and P[l-p,s+p,c] then
12          set P[l,s,a] = true
13        end if
14      end for
15    end for
16  end for
17 end for
    
```

شکل ۳- شبه کد الگوریتم CYK [۲۰]



شکل ۴- نمونه‌ای از سناریوی موبایل در IETF [۲۲]

جدول ۹- تعداد زنجیره‌های موبایل با توجه به طول و قانون

تعداد	طول	قانون
۴۰	۲	$R_G(3)$
۴۰۰	۳	$R_G(8)$
۴۰۰۰	۴	$R_G(8)$
۴۰۰۰۰	۵	$R_G(8)$
۴۰۰۰۰۰	۶	$R_G(8)$
۴۰۰۰۰۰۰	۷	$R_G(8)$
۴۰۰۰۰۰۰۰	۸	$R_G(8)$

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود طبق گرامر پیشنهادی در شبکه امنیتی (WG-Security) طول زنجیره حداقل باید ۳ باشد و تعداد زنجیره‌ها با توجه به طول آنها و قانون مربوطه در جدول ۷ مشخص شده است. در شکل (۲)، گرامر پیشنهادی شبکه مرکز داده (WG-Datacenter) طول زنجیره حداقل باید ۲ باشد و تعداد زنجیره‌ها با توجه به طول آنها و قانون مربوطه در جدول ۸ مشخص شده است.

جدول ۷- تعداد زنجیره‌های امنیتی با توجه به طول و قانون

تعداد	طول	قانون
۱۰	۳	$R_G(4)$
۱۳۰	۴	$R_G(8)$
۱۳۰۰	۵	$R_G(8)$
۱۳۰۰۰	۶	$R_G(8)$
۱۳۰۰۰۰	۷	$R_G(8)$
۱۳۰۰۰۰۰	۸	$R_G(8)$

همچنین در شکل (۲)، گرامر پیشنهادی شبکه موبایل (WG-Mobile) طول زنجیره حداقل باید ۲ باشد و تعداد زنجیره‌ها با توجه به طول آنها و قانون مربوطه در جدول ۹ مشخص شده است.

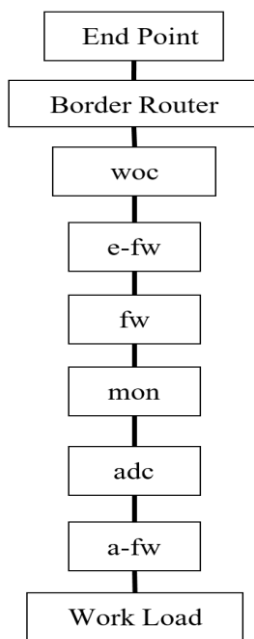
جدول ۸- تعداد زنجیره‌های مرکز داده با توجه به طول و قانون

تعداد	طول	قانون
۱۰	۲	$D \rightarrow e\text{-fw } Y$
۱۱۰	۳	$D \rightarrow e\text{-fw } Y e\text{-fw } adc \ Y$
۱۱۲۰	۴	$D \rightarrow e\text{-fw } Y e\text{-fw } adc \ Y woc \ e\text{-fw } adc \ Y e\text{-fw } adc \ a\text{-fw } Y$
۱۱۲۱۰	۵	$D \rightarrow e\text{-fw } Y e\text{-fw } adc \ Y e\text{-fw } adc \ a\text{-fw } Y woc \ e\text{-fw } adc \ a\text{-fw } Y$
۱۱۲۱۱۰	۶	$D \rightarrow e\text{-fw } Y e\text{-fw } adc \ Y e\text{-fw } adc \ a\text{-fw } Y woc \ e\text{-fw } adc \ a\text{-fw } Y woc \ e\text{-fw } mon \ adc \ a\text{-fw } Y$
۱۱۲۱۱۱۰	۷	$D \rightarrow e\text{-fw } Y e\text{-fw } adc \ Y e\text{-fw } adc \ a\text{-fw } Y woc \ e\text{-fw } adc \ a\text{-fw } Y woc \ e\text{-fw } mon \ adc \ a\text{-fw } Y woc \ e\text{-fw } mon \ s\text{-fw } adc \ mon \ Y$
۱۱۲۱۱۱۱۰	۸	$D \rightarrow e\text{-fw } Y e\text{-fw } adc \ Y e\text{-fw } adc \ a\text{-fw } Y woc \ e\text{-fw } adc \ a\text{-fw } Y woc \ e\text{-fw } mon \ adc \ a\text{-fw } Y woc \ e\text{-fw } mon \ s\text{-fw } adc \ mon \ a\text{-fw } Y$

در روش پیشنهادی WG-total در شکل (۲)، با در نظر گرفتن تمامی قوانین گرامر G مجموع تعداد زنجیره‌های سرویس برای تمامی روش‌های WG-Security، WG-Datacenter و WG-Mobile نشان داده شده است.

{T,Mo, X,Y,Z,W}							
{T,Mo, X,Y,Z,W}	{X,Y, Z,W}						
{T,Mo, X,Y,Z,W}	{X,Y, Z,W}	{X,Y, Z,W}					
{T,Mo, X,Y,Z,W}	{X,Y, Z,W}	{X,Y, Z,W}	{X,Y, Z,W}				
{T,Mo, X,Y,Z,W}	{X,Y, Z,W}	{X,Y, Z,W}	{X,Y, Z,W}			{X,Y, Z,W}	
{X,Y,Z,W }	{X,Y, Z,W}	{X,Y, Z,W}	{X,Y, Z,W}			{X,Y, Z,W}	{X,Y, Z,W}
pgw	lb	tcp- opt.	lb			fw	nat

شکل ۵- روند پذیرش نمونه سناریو موبایل (شکل ۴) توسط گرامر پیشنهادی با الگوریتم CYK



شکل ۶- نمونه‌ای از سناریوی مرکز داده در IETF [۲۱]

{T,D,X, Y,Z,W}				
{X,Y,Z, W}	{T,D,X,Y, Z,W}			
{X,Y,Z, W}	{T,D,X,Y, Z,W}	{X,Y,Z, W}		
{X,Y,Z, W}	{T,D,X,Y, Z,W}	{X,Y,Z, W}	{X,Y,Z, W}	
{X,Y,Z, W}	{X,Y,Z,W}	{X,Y,Z, W}	{X,Y,Z, W}	{X,Y,Z, W}
woc	e-fw	mon	adc	a-fw

شکل ۷- روند پذیرش نمونه سناریو مرکز داده (شکل ۶) توسط گرامر پیشنهادی با الگوریتم CYK

در ادامه در بخش‌های ۲-۴، ۳-۴ و ۴-۴ به ترتیب به پذیرش نمونه سناریوهای موبایل، مرکز داده و امنیت منطبق بر استاندارد IETF توسط گرامر پیشنهادی پرداخته خواهد شد. برای بررسی پذیرش رشته توسط گرامر از الگوریتم CYK [۲۰] استفاده می‌گردد کد الگوریتم آن در شکل ۳ نمایش داده شده است. این الگوریتم یک روش پایین به بالا است و با گرفتن یک رشته و گرامر مشخص می‌کند که آیا رشته توسط گرامر قابل پذیرش می‌باشد یا خیر.

۲-۴- ارزیابی گرامر با سناریوی موبایل

نمونه‌ای از سناریوی موبایل در حوزه SFC که در IETF معرفی شده [۲۲] در شکل (۴) نشان داده شده است. روند پذیرش زنجیره (معرفی شده در شکل ۴)، توسط گرامر پیشنهادی به کمک الگوریتم CYK در شکل (۵) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد این زنجیره از نظر گرامر صحیح و قابل پذیرش است زیرا از پایین به بالا به قانون شروع کننده گرامر G رسیده است.

۳-۴- ارزیابی گرامر با سناریوی مرکز داده

نمونه‌ای از سناریوی مرکز داده در حوزه SFC که در IETF معرفی شده [۲۱] در شکل (۶) نشان داده شده است. روند پذیرش زنجیره (معرفی شده در شکل ۶)، توسط گرامر پیشنهادی به کمک الگوریتم CYK در شکل (۷) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد این زنجیره از نظر گرامر صحیح و قابل پذیرش است زیرا از پایین به بالا به قانون شروع کننده گرامر G رسیده است.

طول زنجیره سرویس به $1/3$ درصد افزایش می‌یابد. در کل روش پیشنهادی استفاده از گرامر با در نظر گرفتن تمامی قوانین، حدود ۵۲ درصد زنجیره‌های سرویس را معتبر تشخیص داده و از تولید مابقی زنجیره سرویس‌های نامعتبر جلوگیری می‌کند. در روش پیشنهادی گرامر، عبارات منظم و آتاماتان معین معادل آن نمایش داده شد و معادل بودن آنها به طور کامل نشان داده شد. در گرامر پیشنهادی با افزایش تعداد سرویس‌ها میزان کاهش زنجیره سرویس‌ها بیشتر خواهد شد. این کاهش در زنجیره‌های با طول کمتر از ۷ ملموس‌تر می‌باشد چرا که روش پیشنهادی تعداد محدودی از سرویس‌ها را به دنبال هم قرار داده و توجهی به تعداد سرویس‌ها ندارد بنابراین تعداد سرویس‌های بیشتر بر سرویس‌های انتخابی در ابتدای زنجیره تاثیر ندارد. در نتیجه تعداد زنجیره‌های سرویس نسبت به کل زنجیره‌ها کمتر خواهد بود.

۶- نتیجه‌گیری

مسئله جاگذاری زنجیره عملکرد سرویس‌ها در شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار که یک مسئله *NP-Hard* می‌باشد که رابطه مستقیمی با تعداد زنجیره سرویس‌ها دارد. تمرکز این مقاله بر کاهش تعداد این زنجیره سرویس‌ها با توجه به استاندارد IETF بوده است. از اینرو با تعریف گرامر مبتنی بر این استاندارد در سه حوزه موبایل، مرکز داده و امنیت این هدف دنبال شد. برای گرامر تولید، عبارات منظم و آتاماتان متناهی نیز بررسی شد. بر اساس ارزیابی‌های صورت گرفته روش پیشنهادی باعث کاهش حدود ۴۸ درصدی تعداد زنجیره‌های سرویس شده است. در ضمن با کمک الگوریتم CYK پذیرش نمونه مثال‌هایی از سناریوهای مختلف مطرح شده در استاندارد IETF نشان داده شد که تمامی این سناریوها به درستی توسط گرامر پیشنهادی مورد پذیرش قرار گرفتند.

۴-۴- ارزیابی گرامر با سناریوی امنیتی

نمونه‌ای از سناریوی امنیتی در حوزه SFC که در IETF معرفی شده [۲۳] در جدول ۱۰ نشان داده شده است. روند پذیرش زنجیره معرفی شده در جدول ۱۰ توسط گرامر پیشنهادی به کمک الگوریتم CYK در شکل (۸) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد این زنجیره از نظر گرامر صحیح و قابل پذیرش است زیرا از پایین به بالا به قانون شروع کننده گرامر G رسیده است.

{T,Se, X,Y,Z,W}			
{X,Y,Z,W}	{X,Y,Z,W}		
{X,Y,Z,W}	{X,Y,Z,W}	{X,Y,Z,W}	
{X,Y,Z,W}	{X,Y,Z,W}	{X,Y,Z,W}	{X,Y,Z,W}
fw	tls	avc	tcp-opt.

شکل ۸- روند پذیرش نمونه سناریو امنیتی (HTTPS Data)

جدول ۱۰) توسط گرامر پیشنهادی با الگوریتم CYK

جدول ۱۰- نمونه‌ای از سناریوی امنیتی در IETF [۲۳]

Packets	Service Function Path
TCP Handshake	SFP-1. AVC:Firewall
TLS Client Hello	SFP-1; Switched to SFP-2 after AVC
Rest of TLS HS	SFP-2. AVC:TLS Proxy:Firewall
HTTPS Data	SFP-2. AVC:TLS Proxy:Firewall

۵- تحلیل و بررسی نتایج

با توجه به شکل (۲)، در روش پیشنهادی *WG-Mobile* نسبت به *WOG*، حدود ۴۰ درصد زنجیره‌های سرویس معتبر تشخیص داده شده و در حوزه شبکه موبایل می‌باشند. این نسبت با افزایش طول زنجیره سرویس ثابت خواهد بود. در روش پیشنهادی *WG-Datacenter* نسبت به *WOG*، حدود ۱۱ درصد زنجیره‌های سرویس معتبر تشخیص داده شده و در حوزه شبکه مرکز داده می‌باشند. در روش پیشنهادی *WG-Security* نسبت به *WOG*، حدود ۱ درصد زنجیره‌های سرویس معتبر تشخیص داده شده و در حوزه امنیت شبکه می‌باشند. این میزان با افزایش

۷- مراجع

- [1] J. Halpern, and C. Pignataro, "Service Function Chaining (SFC) Architecture", IETF Secretariat, RFC7665, 2015.
- [2] W. Lee, Y. H. Choi, and N. Kim, "Study on Virtual Service Chain for Secure Software-Defined Networking", Advanced Science and Technology Letters, Vol. 29, NO. 13, 2013, pp. 177-180.

- [3] W. John, K. Pentikousis, G. Agapiou, E. Jacob, M. Kind, A. Manzalini, F. Risso, D. Staessens, R. Steinert and C. Meirosu, "Research directions in network service chaining", IEEE SDN for InFuture Networks and Services, 2013, pp. 1-7.
- [4] P. Quinn, and T. Nadeau, "Problem Statement for Service Function Chaining", IETF Secretariat, RFC7498, 2015.
- [5] J. Blendin, J. Ruckert, N. Leymann, G. Schyguda, and D. Hausheer, "Position paper: software-defined network service chaining", 3rd European Workshop on Software Defined Networks, 2014, pp. 109-114.
- [6] P. Quinn, and J. Guichard, "Service function chaining: Creating a service plane via network service headers", Computer, Vol. 47, NO. 11, 2014, pp. 38-44.
- [7] H. Oh, D. Yu, Y.-H. Choi, and N. Kim, "Study on Search Algorithm for Finding an Efficient Service-Chaining Path", Advanced Science and Technology Letters, Vol. 51, NO. 1, 2014, pp. 102-105.
- [8] S. Mehraghdam, M. Keller, and H. Karl, "Specifying and placing chains of virtual network functions", 3rd IEEE International Conference on Cloud Networking, 2014, pp. 7-13.
- [9] M. Shirazipour, H. Mahkonen, M. Xia, R. Manghirmalani, A. Takacs, and V. S. Vega, "A monitoring framework at layer 4-7 granularity using network service headers", IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Network, 2015, pp. 54-60.
- [10] M. Medhat, G. Carella, C. Luck, M.-I. Corici, and T. Magedanz, "Near optimal service function path instantiation in a multi-datacenter environment", 11th International Conference on Network and Service Management, 2015, pp. 336-341.
- [11] M. C. Luizelli, L. R. Bays, L. S. Buriol, M. P. Barcellos, and L. P. Gaspar, "Piecing together the nfv provisioning puzzle: Efficient placement and chaining of virtual network functions", IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, 2015, pp. 98-106.
- [12] T. Na, and J. Kim, "Cloud-based service function chaining with distributed VMs and its underlay-aware improvement", International Conference on Information Networking, 2015, pp. 428-429.
- [13] S. Mehraghdam, and H. Karl, "Specification of Complex Structures in Distributed Service Function Chaining Using a YANG Data Model", Computing Research Repository, Vol. abs/1503.02442, 2015, eprint arXiv:1503.02442.
- [14] S. Sahnaf, W. Tavernier, J. Czentye, B. Sonkoly, P. Skoldstrom, D. Jocha, and J., Garay, "Scalable Architecture for Service Function Chain Orchestration", 4th European Workshop on Software Defined Networks, 2015, pp. 19-24.
- [15] S. Mehraghdam, and H. Karl, "Placement of Services with Flexible Structures Specified by a YANG Data Model", IEEE NetSoft Conference and Workshops, 2016, pp. 184-192.
- [۱۶] محمد علی بهشتی نیا و نیلوفر قاضی و کیلی، "ارزیابی الگوریتم‌های زمانبندی تولید کارگاهی انعطاف پذیر و مقایسه آنها با الگوریتم ژنتیک دویبخشی"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۳، شماره ۴۰، سال ۱۳۹۴، صفحه ۱-۱۶.
- [۱۷] فرشاد حکیم پور، سیامک طلعت اهری و ابوالفضل رنجبر، "ارزیابی و مقایسه الگوریتم‌های بهینه سازی ژنتیک، شبیه سازی تبرید و فاخته‌ها در مکان یابی رقابتی تسهیلات (مطالعه موردی: بانکها)"، مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۵، شماره ۴۸، سال ۱۳۹۶، صفحه ۲۳۱-۲۴۶.
- [۱۸] عباس رستمی، امیر نوروزی، هادی مختاری و یاسر نعمتی، "مساله بهینه سازی پورتفولیوی چندهدفه با اهداف حداکثر کردن بازده، حداقل کردن ریسک و حداقل کردن تعداد دارایی"، مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۴، شماره ۴۵، سال ۱۳۹۵، صفحه ۱۰۹-۹۹.
- [19] X. Li, and C. Qian, "A survey of network function placement", 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference, 2016, pp. 948-953.
- [20] B. Reus, "Limits of Computation: From a Programming Perspective", Springer International Publishing, Switzerland, 2016.
- [21] S. Kumar, M. Tufail, S. Majee, C. Captari, and S. Homma, "Service Function Chaining Use Cases In Data Centers", IETF Secretariat, draft-ietf-sfc-dc-use-cases-06, 2017.
- [22] W. Haefner, J. Napper, M. Stiemering, D. Lopez, and J. Uttaro, "Service Function Chaining Use Cases in Mobile Net-works", IETF Secretariat, draft-ietf-sfc-use-case-mobility-07, 2017.
- [23] E. Wang, K. Leung, J. Felix, J. Iyer, and P. Patel, "Service Function Chaining Use Cases for Network Security", IETF Secretariat, draft-wang-sfc-ns-use-cases-03, 2017.
- [24] P. Martin, J. S. Jan, M. K. Bořivoj, "Tree Compression Pushdown Automaton", Kybernetika, Vol. 48, No. 3, 2012, pp. 429-452.