تابستان ۱۴۰۰، دوره ۶، شماره ۲، پیاپی ۲۱
DOR :20.1001.1.2538161.1400.6.2.3.3

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۱۹
پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۰۷

نوع مقاله: پژوهشی

بهبود کیفیت سرویس ترافیک صوت در شبکه‌های نرم‌افزارمحور با استفاده از سازوکارهای صف‌بندی و اولویت‌بندی

محمدعلی فردانی
گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دولت آباد، اصفهان، ایران.
پست الکترونیکی: mohammadali.fardani@gmail.com

رسول صادقی*
گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دولت آباد، اصفهان، ایران.
پست الکترونیکی: r.sadeghi@iauda.ac.ir) (r.sadeghi.2005@gmail.com)

سیدمهدی فقیه‌ایمانی
گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دولت آباد، اصفهان، ایران.
پست الکترونیکی m.imani@srbiau.ac.ir

چکیده

با ظهور شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار، تحول قابل توجهی در فناوری اطلاعات و ارتباطات پدیدار شده است. در شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار، با مجزاسازی لایه کنترل و لایه داده، اساسی‌ترین گام در جهت ایجاد هوش شبکه‌ای منطقی از طریق کنترل‌کننده‌های شبکه‌های نرم‌افزارمحور و قابلیت کنترل به‌صورت متمرکز فراهم شد. همانند شبکه‌های سنتی، در شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار نیز یکی از چالش‌های موجود، تأمین و تضمین کیفیت خدمات سرویس برای جریان‌های بیدرنگ و حساس به زمان است. در این مقاله، با تمرکز بر ترافیک صوت، نیازمندی‌های آن از نقطه نظر کیفیت سرویس مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس سازوکاری پیشنهاد می‌شود که در آن از طریق صف‌بندی و میانگیری بسته‌های صوت توسط کنترل‌کننده، اولویت بالایی به این بسته‌ها نسبت به سایر بسته‌های ترافیکی اختصاص داده می‌شود. سازوکار پیشنهادی به کمک شبیه‌ساز شبکه ns-3 و در فرانامه‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج شبیه‌سازی برتری سازوکار پیشنهادی را نشان می‌دهد. به‌طوری که در فرانامه‌های مختلف، میزان تاخیر از ۱۴ الی ۲۵ درصد، و پارامتر لرزش از ۳ الی ۱۲ درصد نسبت به حالت عدم اعمال سازوکار کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های نرم‌افزارمحور، کیفیت خدمات سرویس، ترافیک صوت.

۱- مقدمه

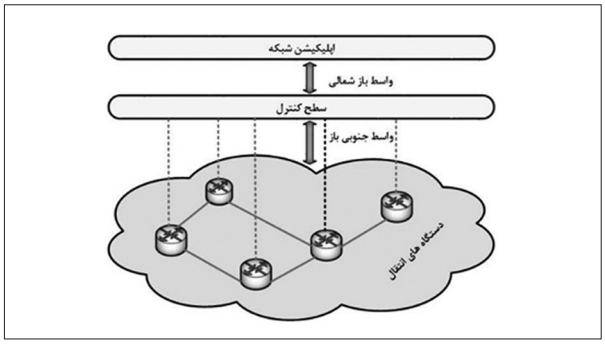
در دهۀ اخیر با رشد معماری شبکه‌های سنتی، چالش‌های زیادی برای این شبکه‌ها مطرح شده که حل آن بر پیچیدگی مدیریت شبکه افزوده ولی در مقابل با رونمایی از مدل

* نویسندۀ مسئول

معماری شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار، راهکارهای قابل قبول‌تر بدون افزایش سربار مدیریتی ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، این معماری با جداسازی سطح کنترل از دستگاه‌های انتقال که سطح داده نیز گفته می‌شود همراه است. در این معماری سطح کنترل همان هوش شبکه است و به‌صورت منطقی به وسیله کنترل‌کننده‌های این شبکه، اقدام به مدیریت و برنامه‌ریزی، به‌صورت متمرکز برای کل شبکه می‌کند [۱]. با توجه به این که بخش نرم‌افزاری که اصطلاحا کنترل‌کننده نامیده می‌شود وظیفه کنترل شبکه را بر عهده دارد، کلیه فرایندهای کنترلی شبکه، توسط کنترل‌کننده، مدیریت و پیاده‌سازی می‌شود. این ویژگی باعث ایجاد شبکه منعطف‌تر نسبت به حالت شبکه‌های سنتی شده و علاوه برکاهش سربار مدیریتی، نرم‌افزارهای ثالثی که قصد دارند تحت شبکه فعالیت کنند، از طریق یک واسط برنامه نویسی[1] (API) به راحتی می‌توانند با کنترل‌کننده ارتباط و تعامل داشته باشند [۲]. با توجه به جداسازی وظایف کنترلی و تمایز آن از دستگاه‌های هدایت و ارسال اعم از مسیریاب و سوئیچ‌ها، امکان تغییر پارامتر گسترش‌پذیری برای زیرساخت‌های شبکه‌های فعلی فراهم می‌شود [۳].

در شکل ۱ که مدل معماری شبکه‌های نرم‌افزارمحور را نشان می‌دهد، اجزا این معماری مشاهده می‌شود. یکی از مهم‌ترین بخش‌ها می‌توان به واسط‌های شمالی و جنوبی اشاره کرد که کاربرد اصلی آن‌ها برقراری ارتباط بین سطح‌های مختلف است[٤]. به‌عنوان مثال، واسط شمالی بین لایه کاربردی[2] شبکه و سطح کنترل عمل می‌کند در حالی که واسط جنوبی اجازه می‌دهد تا اجزای شبکه با یک جزء سطح پایین‌تر ارتباط برقرار کنند، به عبارت دیگر واسط جنوبی تبیین و تعیین کننده کلیه دستورات ارسالی برای دستگاه‌های سطح داده جهت انجام فرایند مسیریابی و هدایت است. از دیگر وظایف این واسط می‌توان به پروتکل ارتباطی و چگونگی سطح ارتباط بین دستگاه‌های لایه داده و لایه کنترل اشاره کرد و نیز تعیین‌کننده نحوه تعامل بین دو سطح است

1-Application Program Interface
2- Application



شکل ۱: نمایی کلی از معماری شبکه‌های نرم‌افزارمحور

[٥].

چالش‌های مختلفی در شبکه‌های نرم‌افزارمحور وجود دارد. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توانیم به تأمین منابع، هدایت و مصرف ترافیک، تأمین کیفیت سرویس، سرویس‌های مدیریتی مسیریاب‌ها، تأمین امنیت، استقرار و مدیریت دستگاه‌ها اعم از میان‌افزارها، توپولوژی شبکه‌های موردی اشاره نمود [٦]. یکی از چالش‌های موجود در شبکه‌ها، تأمین و تضمین کیفیت خدمات سرویس برای جریان‌های بیدرنگ و حساس به زمان است. در صورت عدم تأمین حداقل نیازمندی‌های کیفیت خدمات ترافیک‌ها، بازدهی کل شبکه با افت شدید کارایی مواجه می‌شود. از مهم‌ترین جریان‌های بیدرنگ، ترافیک صوت (VoIP)[3] در شبکه است که پس از شناخت ساختار و نیازمندی‌ها دارای چالش‌هایی جهت پیاده‌سازی در شبکه‌های نرم‌افزارمحور است.

مسئله‌ای که در این مقاله بر روی آن تمرکز می‌نماییم، تأمین و تضمین کیفیت خدمات سرویس برای جریان‌های ترافیک صوت در شبکه‌های نرم‌افزارمحور است. در این روش، برای ارسال ترافیک صوت که به‌صورت بیدرنگ و حساس به زمان است، نیازمندی‌های مربوطه با استفاده از کنترل‌کننده‌های شبکه‌های نرم‌افزارمحور محاسبه و به سوییچ‌های شبکه اعمال می‌گردد. به‌علاوه، اولویت‌بندی ترافیک صوت در این روش به گونه‌ای طراحی شده است که تاثیر مخربی روی سایر ترافیک‌ها نداشته باشد.

نوآوری این مقاله نسبت به پژوهش‌های موجود در این زمینه، ارائه راهکاری جهت بهبود کیفیت سرویس در

3- Voice over IP

ترافیک صوت در شبکه‌های نرم‌افزارمحور است. در راهکار پیشنهادی، از حوزه‌های سرایند[4] موجود در پروتکل IP جهت تمایز ترافیک صوت و سایر ترافیک‌ها استفاده می‌شود. سپس، دو سازوکار صف‌بندی متفاوت به ترتیب برای ترافیک بیدرنگ صوت و سایر ترافیک‌ها تعریف می‌شود و قوانین مربوط به آن به کنترل‌کننده‌های شبکه نرم‌افزارمحور اعمال می‌شود. ارزیابی و تحلیل نتایج این پژوهش می‌تواند راهبرد مناسبی برای افزایش کارایی در شبکه‌های نرم‌افزارمحوری باشد که نیاز به کیفیت بالای ترافیک صوت بیدرنگ در کنار سایر ترافیک‌ها داشته باشد که این موضوع در هیچ یک از پژوهش‌های پیشین مورد بررسی و تحقیق قرار نگرفته است.

در ادامه این مقاله، در بخش بعدی مروری بر کارهای انجام شده در حوزه‌های تأمین کیفیت خدمات سرویس در شبکه‌های نرم‌افزارمحور برای انواع ترافیک ارائه خواهد شد. سپس در بخش سه به تشریح روش پیشنهادی، فرانامهٔ تأمین کیفیت خدمات سرویس برای جریانات صوت بیدرنگ در شبکه‌های نرم‌افزارمحور و همچنین معرفی پارامترهای مربوطه خواهیم پرداخت. شبیه‌سازی روش پیشنهادی و ارزیابی و تفسیر نتایج در بخش چهار ارائه شده و سپس نتیجه‌گیری و کارهای آینده در بخش پنجم بیان خواهد شد.

۲.پیشینه پژوهش

یکی از مهم‌ترین اهداف شبکه‌های ارتباطی تأمین کیفیت سرویس برای انواع ترافیک‌هاست. سرویس‌های مختلف ترافیکی نظیر سرویس VoIP، ایمیل، صوتی، کنفرانس ویدئویی و جریان، بازی برخط[5]، تجارت الکترونیکی و غیره، الزامات متعددی را برای تأمین کیفیت سرویس می‌طلبد که باید از طریق اینترنت ضمانت شوند [۹]. به‌عنوان مثال، بعضی از سرویس‌های ترافیکی مانند کنفرانس‌های ویدئویی نیاز به پهنای‌باند خاصی دارند، در حالی که سرویس VoIP کمتر نیاز به پهنای باند و بیشتر حساس به تاخیر در یک شبکه است. [۱۰] تأمین این الزامات نیاز به یک سازوکار کیفیت خدمات در یک شبکه دارد. با این حال، امروزه مدل تحویل واقعیِ بهترین تلاش[6] در اینترنت قادر به تأمین تمامی الزامات سرویس‌های ترافیکی نیست. علاوه بر این، سازوکارهای پیشنهادی کیفیت سرویس مبتنی بر قابلیت‌های شبکه سنتی به اندازه کافی موفق نبوده‌اند. به‌عنوان مثال، ذخیرهٔ منابع از مبدا تا مقصد در مدل IntServ[7] براساس الزامات هر جریان ترافیکی در شبکه‌های بزرگ و پیچیده قابل پیاده‌سازی نیست [۱۱]. برای مقابله با این مسئله مقیاسپذیری، مدل DiffServ[8] پیشنهاد شد که بر مبنای تجمیع جریان بوده و از روش گام به گام بهره می‌برد [۱۳]. در این سازوکار جریانات بر اساس نوع خدمات، رده‌بندی می‌شود. با این وجود، برای تأمین خدمات سرویسِ جریان‌های منفرد با دشواری‌هایی روبروست. مدل اخیر با وجود سادگی پیاده‌سازی، در ضمانت تأمین کیفیت سرویس نسبت به مدل قبلی، ضعیف‌تر عمل می‌کند. در راهکار دیگری که با عنوان فناوری MPLS[9] شناخته می‌شود، از تکنیک‌های برچسب‌گذاری برای اولویت‌بندی جریان‌های ترافیکی استفاده می‌شود[۱۴]. این راهکار با وجود داشتن مزایا، دارای انعطاف لازم برای تأمین همه الزامات کیفیت سرویس نیست. لذا معماری شبکه‌های سنتی برای تأمین کیفیت سرویس دارای معایبی است که شبکه‌های نرم‌افزارمحور می‌توانند پاسخگوی آن باشند. یکی از مهم‌ترین اهداف معماری شبکه‌های نرم‌افزارمحور تأمین الزامات مورد نیاز جریان‌های مختلف ترافیکی است [۸].

سازوکارهای کیفیت سرویس در شبکه‌های نرم‌افزارمحور دارای دسته‌بندی‌های متعددی است. مطابق شکل ۲، این دسته‌بندی‌ها شامل مسیریابی جریان‌های چندرسانه‌ای [۲۲] [۲۱]، مسیریابی کیفیت سرویس داخلی دامنه [۲۴] [۲۳]، ذخیرهٔ منابع [۲۶] [۲۵]، مدیریت صف و زمان‌بندی [۲۸] [۲۷]، اطلاع از کیفیت خدمات سمت کاربر [۲۹]، نظارت بر شبکه [۳۰] و مبتنی بر مجازی‌سازی [۳۱] خواهد بود. در ادامه به بررسی پژوهش‌های موجود در هر

4- Header
5- Online

6- Best Effort
7- Integrated Services
8- Differentiated Services
9- Multiprotocol Label Switching

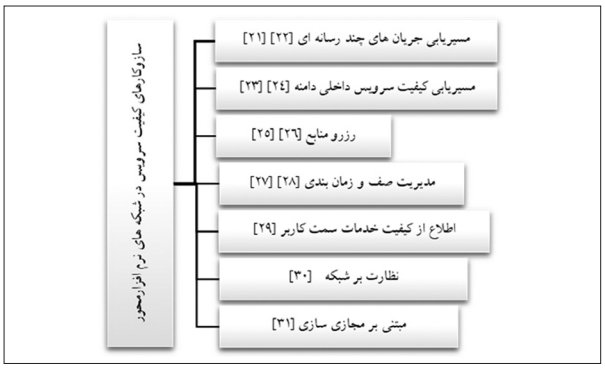
یک از این دسته‌ها خواهیم پرداخت.

با توجه به این که برای اعمال سیاست کیفیت خدمات سرویس نیاز به محاسبه دقیق تاخیر کل شبکه است، در راهکاری که توسط مقاله [۲۱] ارائه شده، سازوکاری برای اندازه‌گیری تاخیرهای پیوند از یک کنترل‌کننده مبتنی بر پروتکل OpenFlow با دقت بالا ارائه شده است که حاوی بسته‌های نظارتی ارسالی در شبکه با طول ۲٤ بایت است. طول این بسته‌ها بسیار کمتر از طول بسته‌های کنترلی Ping است ولی با دقت بالایی است. در پژوهشی دیگر [۲۲]، یک رویکرد و یک نرم‌افزار منبع باز برای نظارت بر معیارهای جریان، گذردهی، تأخیر و فقدان بسته، در پروتکل OpenFlow همراه با کاهش سربار پردازشی، ارائه شده است.

در پژوهشی دیگر [۲۳]، با استفاده از الگوی شبکه‌های نرم‌افزارمحور، ارائه دهنده سرویس می‌تواند برخی از سازوکارهای کنترلی را به کاربران بسپارد تا مدیریت کیفیت خدمات سرویس برای دستگاه‌ها و برنامه‌های خاص در منازل امکان‌پذیر شود. بنابراین یک معماری برای واگذاری این کنترل به کاربران توسعه داده شده و درنهایت ارزش این معماری از طریق آزمایش‌هایی بر روی برنامه‌های کاربردی، ویدیویی، مرور وب و بارگیری‌های حجیم انجام شده است. در مقاله [۲٤]یک مدل تطبیق‌پذیر پیشنهاد می‌شود که می‌تواند پارامتر میانگین امتیاز را در کاربردهای بیدرنگ محاسبه کند.

مفهوم کاربرد شبکه‌های نرم‌افزارمحور در ارائه QoS برای خدمات بیدرنگ و به‌طور خاص یک برنامه برای ترافیک پروتکل SIP [10] در [۲۵] ارائه شده است. در پژوهشی دیگر[۲٦]، از طریق استفاده از برنامه‌هایی که مختص شبکه‌های نرم‌افزارمحور طراحی شده، تاخیر زمانی کاهش یافته حتی اگر نیازمندی‌های جریان‌های ترافیکی به‌صورت پیشگیرانه تأمین شوند قبل از آن که انتقال ترافیک صورت گیرد. علاوه براین، برنامه پیشنهادی باعث کاهش تاخیر و زمان برقراری تماس در سرویسVoIP می‌شود. برنامه مطرح شده از معیارها و ویژگی‌های صف‌بندی پروتکل OpenFlow 1.3 برای اطمینان از کیفیت خدمات بالا استفاده می‌کند.

10- Session Initiation Protocol



شکل ۲: سازماندهی مطالعات حوزه کیفیت سرویس در شبکه‌های نرم‌افزارمحور مبتنی بر پروتکل Openflow

هارولد و همکاران در [۲۷] راهکاری برای تأمین کیفیت سرویس انتها به انتها برای جریان‌های ویدیویی بیدرنگ ارائه شده که در آن پس از بررسی معماری و همبندی کلی شبکه، مسیری بهینه همراه با تضمین کیفیت مدنظر ارائه می‌شود. در نهایت این فرایند و پروتکل را VSDN نام‌گذاری کرده که با هدف شناخت و تأمین و تضمین کیفیت سرویس انتها به انتها برای جریان‌های ویدیویی زمان واقعی است که در همین راستا واسطهای شمالی ارائه شده که درخواست‌های کیفیت سرویس را در شبکه بررسی می‌کند. در نهایت به بررسی پیچیدگی پیام‌ها، پهنای باند، تاخیر و لرزش شبکه پرداخته شده است. پروتکل OpenFlow [۲۸] یکی از پرکاربردترین استانداردهای شبکه‌های نرم‌افزارمحور است که به نفوذ قابل توجهی رسیده‌است و توسط بسیاری از فروشندگان سخت‌افزاری پشتیبانی می‌شود. بسیاری از کنترل‌کننده‌ها می‌توانند با اطلاعات هوشمندانه برنامه‌ریزی شوند تا تصمیمات را بر اساس منطق کسب و کار تعریف کنند. به‌عنوان مثال، کنترل پذیرش تماس (CAC)[11]، تغییر مسیر و سازگاری با کیفیت می‌تواند در جریان VoIP در شبکه‌های نرم‌افزارمحور اجرا شود. کنترل تنظیم QoS ترافیک VoIP می‌تواند به‌صورت خودکار توسط تنظیم کننده شبکه انجام شود. در راهکار ارائه شده در [۷]، یک رویکرد برای نظارت پیشرفته در شبکه‌های نرم‌افزارمحور پیشنهاد می‌دهد که بر اساس آن معیار میانگین امتیاز[12] بر روی کنترل‌کننده‌های شبکه محاسبه شود، که در این مقاله این فرانامه با کنترل‌کننده

11- Call Admission Control
12- Mean opinion score

Floodlight اجرا شـــده و برنامه‌ای برای محاســـبه میانگین امتیاز برای این کنترل‌کننده نوشـــته شده است و این معیار را با توجه به این که در کنترل‌کننده‌ها محاسبه می‌کند با نام «میانگین امتیاز میانه»[۱۳] (iMOS) فراخوانی می‌کند.

در پژوهشی دیگر [۲۹] نشان داده شده است که به وسیله دید کلی که در اثر معماری شـــبکه‌های نرم‌افزارمحور کسب می‌شـــود، می‌توان میزان توان هر مســـیریاب را بر اساس پارامتر میانگین امتیاز برای ســـرویس‌های صوت محاسبه کرد. بنابراین، در هنگام افزودن مسیریاب‌ها در طول مسیر موجود، ممکن است باعث کاهش معیار میانگین امتیاز شوند، کنترل‌کننده شبکه‌های نرم‌افزار می‌تواند میزان همکاری هر مســـیریاب را تعیین کند. این راهکار، یک سیستم نظارت بر شـــبکه برای پروتـــکل OpenFlow در شـــبکه‌های VoIP با مقیاس گســـترده است. راه‌حل ارائه شـــده، مدیران شبکه و توســـعه‌دهندگان را قادر می‌ســـازد تا در صـــورت نیاز به اطلاعاتی مثل فقدان بســـته در طول مسیر و معیار میانگین امتیاز برای برنامه‌های کاربردی بیدرنگ دسترســـی داشته باشند. گام اصلی این فرایند توانمندسازی کاربران به منظور دســـتیابی به مکان دقیق تخریب کیفیت ســـرویس با هزینه عملیاتی کم اســـت. نتایج این پژوهش در اثر شبیه‌سازی یک برنامه کاربردی تحت ترافیک صوت بیدرنگ در شـــبکه‌های گســـترده در محیط Mininet با کنترل‌کننـــده متن باز POX بوده و در تمام پیوندها به بررســـی پارامترهای فقدان بسته و میانگین امتیاز پرداخته است.

بنابه‌نظر اولاریو و همکاران [۳۰]، شبکه‌های نرم‌افزارمحور و توابع مجازی‌ساز شبکه[۱۴] (NFV)، انعطاف‌پذیری و کنترل بیشـــتری را در هنگام تأمین کیفیت ســـرویس برای کاهش حداقلی تأخیر در ارائه خدمات حساس به زمان فراهم می‌کند. تاخیر شبکه می‌تواند تاثیر منفی بر کیفیت صوت داشته باشد، بنابرایـــن، کاهش حداکثری تاخیر می‌تواند به حفظ کیفیت و جلوگیری از قطع تماس کمک کند. این مقاله یک طرح مدیریتی صف‌بندی مبتنی بر تاخیر بسته برای اولویت‌بندی تماس‌های VoIP ساخته شده در SDN ارائه می‌دهد. در این آزمایش که در محیط شبیه‌ساز Mininet پیاده‌سازی و توسعه داده شده است، نتایج به دســـت آمده حاکی از بهبود تاخیر بسته‌های ترافیک صوت در شـــبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار است و تنها تعـــداد کمی از کاربران تحت تاثیر میزان تراکم شـــبکه قرار می‌گیرند. ایده بنیادین این کار اولویت‌بندی منابع شبکه برای مصرف بهینه توســـط بســـته‌ها با هدف کنترل تاخیر است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از طرح مورد نظر به‌طور قابل توجهی به افزایش کیفیت تماس‌ها منجر می‌شود.

در تحقیقی دیگر [۳۱] اثرات روی ترافیک شبکه هنگامی که مدیریت کیفیت خدمات سرویس به‌صورت پویا در شبکه‌های نرم‌افزارمحور مورد بررسی قرار گرفته است. هم چنین اثرات بر روی جریانات TCP شـــبکه هنگام تغییرانتساب صف به چندین جریان در زمان اجرا اندازه‌گیری شده است. علاوه بر این، در این روش بررسی اندازه‌گیری‌ها برای پیکربندی‌های مختلفی از مفاهیم اصلی کیفیت خدمات ســـرویس از طریق، ضمانت پهنای‌باند بر روی ســـه ســـوئیچ انجام شده است. همان‌طور که سوئیچ OVS [۱۵] به‌صورت نرم‌افزاری پیاده شده اســـت، اطلاعات جزیی از ترکیب صف‌بندی و پیاده‌ســـازی صف همانند FIFO [۱۶] و SFQ [۱۷] فراهم می‌کند. با اســـتفاده از رفتار ســـوئیچ OVS این امکان فراهم شده که نتایجی درباره پیاده‌ســـازی صف در سخت‌افزار سوئیچ به دست آید که به ندرت به‌صورت عمومی قابل دسترسی است.

بـــا توجه به این مســـئله کـــه هر چه پیاده‌ســـازی دقیق و جامع‌تـــری از کیفیـــت خدمات ســـرویس در شـــبکه‌های نرم‌افزارمحور انجام شود، باعث افزایش پیچیدگی و سربار مدیریتی در شبکه می‌شود و اتلاف منابع و تاخیر را به همراه دارد، این مســـئله با هدف اصلی کیفیت سرویس در تناقض است.

اصولا به‌صـــورت نســـبی در یک محـــدوده بهینه، این ســـازوکارها پیاده‌سازی شـــده اســـت. تمامی دسته‌بندی سازوکارهای شکل ۲ بر اساس نوع، تعداد، میزان حساسیت

13- Intermediate MOS
14- Network Function Virtualization
15- Open vSwitch
16- First In First Out
17- Stochastic Fairness Queuing

ترافیک‌ها و قابلیت تحمل تاخیر جریانات ارائه شده و انتخاب می‌شود. غالبا چالش‌ها زمانی ملموس و مطرح می‌شود که در هنگام استفاده از سازوکارهای کیفیت سرویس پیشنیازهای مربوطه رعایت نشود.

۳. روش پیشنهادی

باتوجه به بررسی سازوکارهای شکل ۲ و عدم وجود سازوکاری مناسب همراه با سربار مدیریتی کم برای تحلیل ترافیک‌ها و اولویت بخشی به ترافیک‌های بیدرنگ و حساس به زمان، اقدام به ترکیب سازوکارهای مختلف (اعم از ذخیرهٔ منابع، مدیریت صف و زمانبندی و نظارت بر شبکه) کرده و به‌عنوان روش پیشنهادی نوین ارائه شده که در ادامه بررسی می‌شود. طبق این روش پیشنهادی در شبکه‌هایی با ترافیک‌های مختلف، اقدام به مهندسی ترافیک کرده و در صورت وجود ترافیک‌های حساس به زمان، در لحظه به آن‌ها منابع اختصاص داده شده و پس از اتمام این منابع به مابقی ترافیک‌ها اضافه می‌شود.

در روش پیشنهادی مطابق شکل ۳ از سه عدد سوئیچ OpenFlow استفاده می‌شود که هر کدام با کنترل‌کننده مربوطه مدیریت و برنامه‌ریزی می‌شود و جهت برقراری ارتباط بین اجزا، از پروتکل OpenFlow نسخه ۱,۳ استفاده می‌شود.

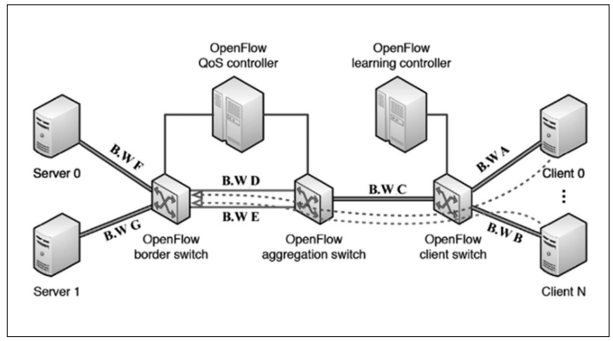
کلیهٔ سرویس‌گیرنده‌ها در سمت خود به یک سوئیچ متصل هستند که به وسیله این سوئیچ با شبکه اصلی ارتباط دارند. این سوئیچ وظیفهٔ مدیریت کلیه جریان‌های ارسالی از سمت سرویس‌گیرنده‌ها را عهده دار است که به وسیله یک کنترل‌کننده یادگیری[18] فرایند مدیریت آن انجام شده و سپس هدایت جریان‌ها را انجام می‌دهد. سوئیچ تجمیع[19] متصل کننده و رابط بین سوئیچ‌های سرویس‌گیرنده و مرزی[20] است که به وسیله آن کلیه جریان‌ها به طرفین ارسال و هدایت می‌شود، که این فرایند از طریق دو کانال ارتباطی[21] با پهنای باند B.W D و B.W E با سوئیچ مرزی و یک کانال ارتباطی با پهنای باند B.W C با سوئیچ سرویس‌گیرنده انجام پذیرفته است. سوئیچ مرزی و سوئیچ تجمیع توسط کنترل‌کننده کیفیت سرویس[22] مدیریت می‌شود که نقش اصلی این کنترل‌کننده در توزیع بار هدایت شده به سمت کارساز[23]ها از طریق سوئیچ مرزی است. این کنترل‌کننده نیز برای مدیریت سوئیچ‌ها از پروتکل OpenFlow نسخه ۱,۳ پشتیبانی می‌کند، که با توجه به ویژگی‌های بیان شده این نسخه جهت کاربرد توزیع بار جریان‌ها کاربردی است.

در طرح پیشنهادی بر اساس حوزهٔ نوع سرویس[24] (ToS)، ترافیک صوت متمایز شده و حائز اهمیت نسبت به مابقی ترافیک‌ها می‌شود. این حوزه از حوزه‌های فرایند لایه IP بوده و در تمامی بسته‌های تحت شبکه موجود است که بر اساس آن به نوع ترافیک درون بسته می‌توان پی برد. پس از مشخص شدن وجه تمایز ترافیک‌ها دو سازوکار صف پیاده‌سازی شده که اولویت صف ترافیک بیدرنگ صوت بالا بوده و مابقی ترافیک‌ها در صف دیگری با سازوکار FIFO[25] ذخیره و میانگیری[26] می‌شود تا در صورت عدم وجود ترافیک بیدرنگ مابقی ترافیک‌ها نقل و انتقال یابند. تشخیص نوع ترافیک را کنترل‌کننده انجام می‌دهد. در این طرح ترافیک‌ها به نحوی انتخاب شده که تمام ظرفیت گلوگاه‌های شبکه به حد اشباع رسیده و طبیعتا با پدیده‌های تاخیر و فقدان بسته مواجه می‌شود. نکته اصلی، عدم اعمال این پدیده‌ها بر ترافیک بیدرنگ صوت و رعایت پیش‌نیازهای این ترافیک است. جهت درک بهتر می‌توان از سازوکار صف‌بندی مطابق با شکل ٤ استفاده نمود. در این طرح یک عدد سرویس‌گیرنده به‌عنوان ارسال کننده ترافیک صوت به سمت یک عدد کارساز به‌عنوان دریافت کننده کلیه ترافیک‌ها درنظر گرفته شده‌است. از ویژگی توازن بار در سوئیچ مرزی به جهت توزیع کلیه ترافیک‌ها بر روی کارسازها استفاده شده است.

شکل ٥ فراگرد روش پیشنهادی را نشان می‌دهد که شامل مراحل زیر است:

18- Learning
19- Aggregation
20- Border Switch
21- Link

22- QoS
23- Server
24- Type of service
25- First In, First Out
26- Buffer



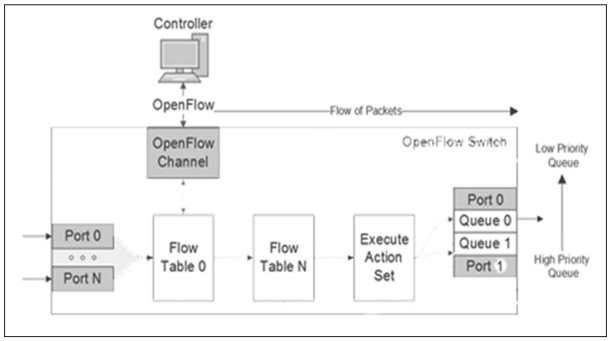
شکل ۳: همبندی شبکه برای کنترل‌کننده کیفیت سرویس

۱. پس از شروع فرایند آغاز به کار دستگاه‌های شبکه، شروع به کار سیستم‌عامل آن‌ها انجام شده و در مرحله بعد از سرویس‌دهنده DHCP درخواست نشانی IP می‌کند و سپس توسط پروتکل ARP کلیه دستگاه‌ها به یکدیگر شناسانده می‌شود. پس از اتمام این فرایند نیاز به تبادل ترافیک در شبکه احساس می‌شود. پس از برقراری ارتباط موفق، ترافیک‌های گوناگونی ارسال و دریافت می‌شود که در این تقسیم‌بندی، ترافیک‌های شبکه به دو نوع تقسیم می‌شود. نوع اول ترافیک حساس به زمان و نوع دوم شامل سایر ترافیک‌های موجود در شبکه بجز نوع اول هستند.

۲. دریافت ترافیک توسط سوئیچ‌های شبکه‌های نرم‌افزارمحورانجام و بررسی می‌شود که آیا این ترافیک در جدول جریان دارای واکنش متقابل هست یا خیر. اگر در لیست جریان‌های جدول جریان وجود نداشته باشد، به سمت کنترل‌کننده ارسال می‌شود تا کنترل‌کننده در مورد نحوه هدایت و ارسال این ترافیک تصمیم‌گیری‌های لازم را انجام دهد.

۳. پس از ثبت تصمیم‌گیری در مورد واکنش متقابل در مورد ترافیک، اجازه هدایت و مسیریابی بر همان اساس تصمیم اعمال می‌شود. در صورتی که ترافیک‌های دریافتی از انواع مختلفی باشد، اولویت با ترافیک‌های حساس به زمان و بیدرنگ است در غیر این صورت طبق سازوکار به ترتیب ورود یا FIFO فرایند هدایت و ارسال آن انجام می‌شود.

٤. در هر لحظه میزان اشباع شبکه بررسی می‌شود تا در صورتیکه ظرفیت شبکه به اشباع نرسیده باشد، بر اساس نتایج مرحله قبلی فرایند هدایت و ارسال بسته‌ها پیگیری



شکل ۴: معماری داخلی سوئیچ OpenFlow همراه با سازوکار صف‌بندی ترافیک‌ها

شود. ولی اگر شبکه به حداکثر ظرفیت خود رسیده باشد، احتمال بروز پدیده فقدان یا از دست دادن بسته‌ها وجود دارد و اولویت با بسته‌های حساس به زمان است. زیرا غالباً این بسته‌ها از پروتکل UDP بهره برده و سیستم کاهش نرخ تولید در اثر از دست رفتن بسته‌ها ندارد. ترافیک‌های دیگر غالبا از پروتکل TCP برای نقل و انتقالات در شبکه استفاده می‌کنند و در صورت عدم رسیدن بسته به مقصد، نرخ تولید را کاهش می‌دهد، در نتیجه اولویت با ترافیک‌های بیدرنگ در این حالت است.

۵. در صورت وجود ترافیک، مجددا مراحل ۱ تا ٤ بررسی می‌شود و در صورت عدم وجود ترافیک فرایند به اتمام خواهد رسید.

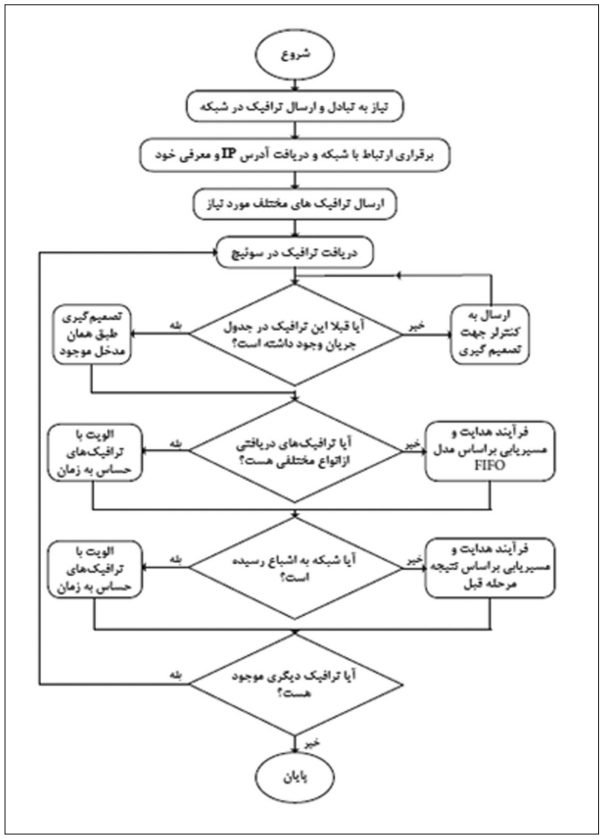
۴. شبیه‌سازی و ارزیابی

پیاده‌سازی و بررسی شبکه‌های نرم‌افزارمحور مشمول هزینه بوده و آزمایش‌های گران‌قیمتی را در بر دارد به همین علت شبیه‌سازی را می‌توان جایگزین مناسبی جهت پیاده‌سازی‌های واقعی در بررسی صحت و رفتار پروتکل‌ها عنوان نمود. در این مقاله، روش پیشنهادی را با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز ns-3 در فرانامه‌های مختلف شبیه‌سازی نموده و سپس نتایج را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. در این فرانامه‌ها، یک عدد سرویس‌گیرنده و یک عدد سرویس‌دهنده به‌صورت فرستنده –گیرنده درنظر می‌گیریم. کلیه فرانامه‌های مورد بررسی در ادامه براساس همبندی پایه در شکل ۳، در ساده‌ترین حالت پیاده شده است. به عبارت دیگر به منظور

آزمایش عملکرد روش پیشنهادی، یک سرویس‌دهنده و یک کارساز در تمام فرانامه‌ها ثابت است. با توجه به تمرکز این مقاله بر روی ترافیک صوت، یک ترافیک صوت تولید شده و همزمان با ترافیک‌های دیگری ارسال می‌شود تا حالت معمول شبکه با حالت اعمال سازوکار کیفیت سرویس سنجیده شود. در این روش می‌توان پهنای باند گلوگاه را بالا برده و میزان تاخیر ولرزش ترافیک بیدرنگ را محاسبه نمود، ولی راهکار دیگری نیز در این روش اســتفاده شده که در این راهکار به جای افزایش پهنای باند گلوگاه‌ها و افزایش ترافیک‌ها اعم از معمــول و بیدرنگ، پهنای باند گلوگاه را با همان جریان‌های اصلی کاهش داده شــده اســت به‌طوری که ترافیک صوت از همان بدو شــروع شبکه شــروع به تولید ترافیک کرده و تا ثانیه ٦٠ این تولید ترافیک به طول می‌انجامد، ترافیک‌های دیگر از ثانیه ١٠ شــروع به ارســال کرده و تــا پایان زمان شبیه‌ســازی این ترافیک‌ها ارســال می‌شود. ترافیک صوت بر اســاس اســتاندارد معروف G.711 با نرخ تولید بسته به فاصله زمانــی ٢٠ میلی ثانیه و حجــم داده در لایه کاربرد ١٦٠ بایت است. لازم به ذکر است این روش اولویت بخشی بــه ترافیک صوت که در فرانامه‌های مختلف روشــی نوین است.

مطابق شــکل ٦-الف در فرانامهٔ اول، پهنای باند اجزای شــبکه ١٠٠ مگابیت بر ثانیه و در قســمت گلوگاه شبکه هر پیوند ١٠ مگابیت بر ثانیه در نظر گرفته شــده است. با توجه به این که در فرانامه تجمیع پیوند داریم و ٢ عدد پیوند با این ســرعت داریم، گلوگاه برای ما در این فرانامه ٢٠ مگابیت بر ثانیه است. شــکل‌های ٦-ب و ٦-ج به ترتیب تاخیر انتها به انتها و لرزش را برای فرانامهٔ اول نشان می‌دهد که بدون و با سازوکار پیشنهادی مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است.نتایج نشان می‌دهد که تاخیر انتها به انتهای بسته‌ها با ١٧ درصد و پارامتر لرزش با ٣ درصد کاهش در روش پیشنهادی نسبت به حالت بدون اعمال آن همراه بوده است.

در فرانامهٔ دوم که در شــکل٧-الف مشــاهده می‌شود، پهنای باند اجزای شبکه و قسمت گلوگاه شبکه به ترتیب، ١٠



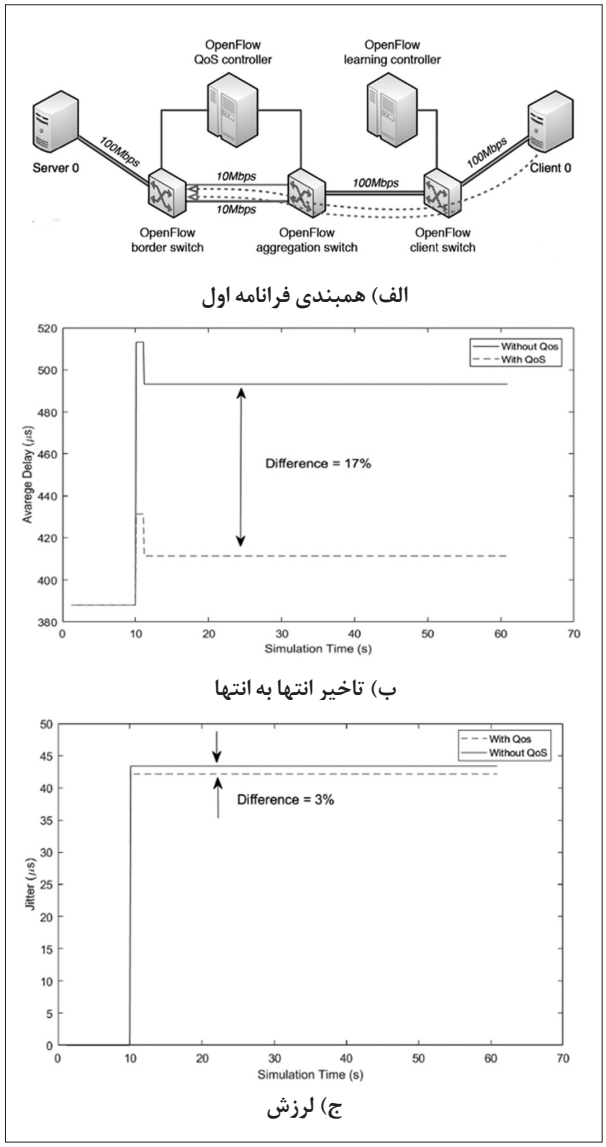
شکل ۵: فراگرد روش پیشنهادی

```
Function Progress(Flow Selection or Traffic Selection)
    Need to Send and Receive Traffic
    Join to Network and Get IP Address
    Send Traffices
    Receive Traffices in Switch
        if (this flow in FlowTable)
            Action = Action Field in FlowTable
                if (Traffic is multi flow)
                    Send RealTime Traffices
                        if (Network Capacity is in threshold)
                            Send RealTime Traffices
                        else
                            Send other Traffices
                        endif
                else
                Forward and Routing Based on FIFO
                endif
        else
            Send Flow to Controller for Decision
        endif
    end
end
```

الگوریتم۱. پردازش اولویت بندی ترافیک‌های بیدرنگ و معمولی طبق روش پیشنهادی

مگابیت برثانیه و ١ مگابیت برثانیه است. تاثیر این تغییر پهنای باند، کاهش ٢٢ تا ٢٥ درصد در تاخیر بسته‌ها (شکل٧-ب) و کاهش ١٢ درصدی پارامتر لرزش (شکل٧-ج) با اعمال روش پیشنهادی‌است.

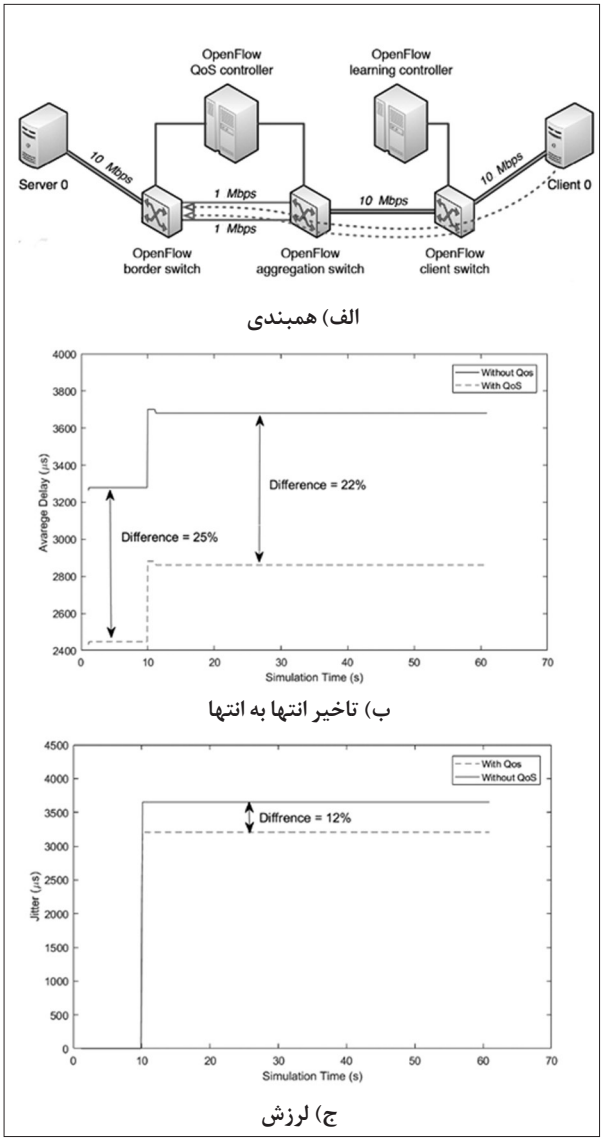
به منظور تاثیر پهنای باند بر کارایی روش پیشنهادی در فرانامهٔ سوم(شکل٨-الف)، پهنای‌باند اجزای شبکه ٢ مگابیت



شکل ۶: فرانامهٔ اول- گلوگاه با دو پیوند Mbps 10 و سایر پیوندها Mbps 100

و در پیوند گلوگاه شـــبکه هر پیوند ۱ مگابیت در نظر گرفته می‌شود. نتایج به دســـت آمده که در شکل‌های ۸-ب و ۸-ج نشـــان می‌دهد که این تغییر پهنـــای باند منجر به کاهش ۱٤ درصدی در تاخیر بســـته‌ها و همچنین کاهش ۱۲ درصدی پارامتر لرزش با اعمال روش پیشنهادی می‌شود.

در آخرین فرانامه، پهنای‌باند اجزای شبکه ۵۱۲ کیلوبیت برثانیه و قسمت گلوگاه شبکه ۲۵٦ کیلوبیت برثانیه برای هر پیوند درنظر گرفته می‌شود (شکل ۹-الف). این تغییر پهنای باند تاخیر بســـته‌ها را بین ۱۰ تا ۲٤ درصد (شـــکل ۹-ب) و پارامتر لرزش را ۱۰ درصد (شکل ۹-ج) کاهش می‌دهد.

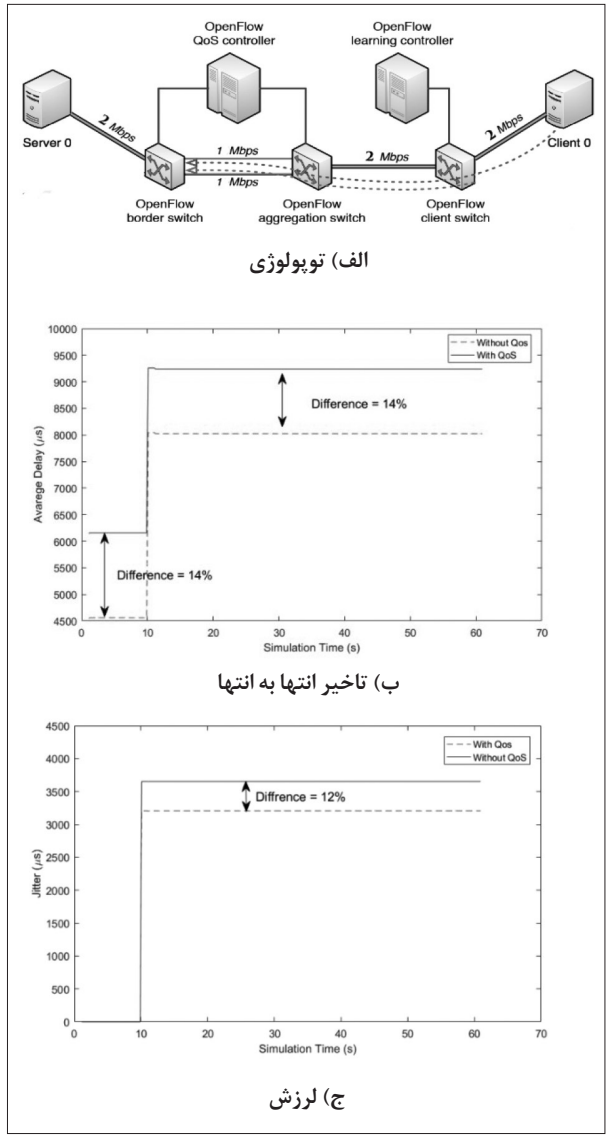


شکل ۷: فرانامهٔ دوم- گلوگاه با دو پیوند Mbps 1 و سایر پیوندها Mbps 10

با توجه به بررسی نتایج فرانامه‌های مختلف پس از اعمال سازوکار کیفیت خدمات سرویس، پارامتر تاخیر و بعد از آن پارامتـــر لرزش دارای بهبود بوده که هرچه پهنای‌باند پیوند کاهش می‌یابد این بهبود که در قالب اختلاف نمایش داده شده محسوس‌تر است.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله با تمرکـــز بر ترافیک صوت، نیازمندی‌های آن از نقطه نظر کیفیت ســـرویس مورد بررسی قرار گرفت و در مرحله بعد ســـازوکاری پیشـــنهاد شـــد کـــه در آن از



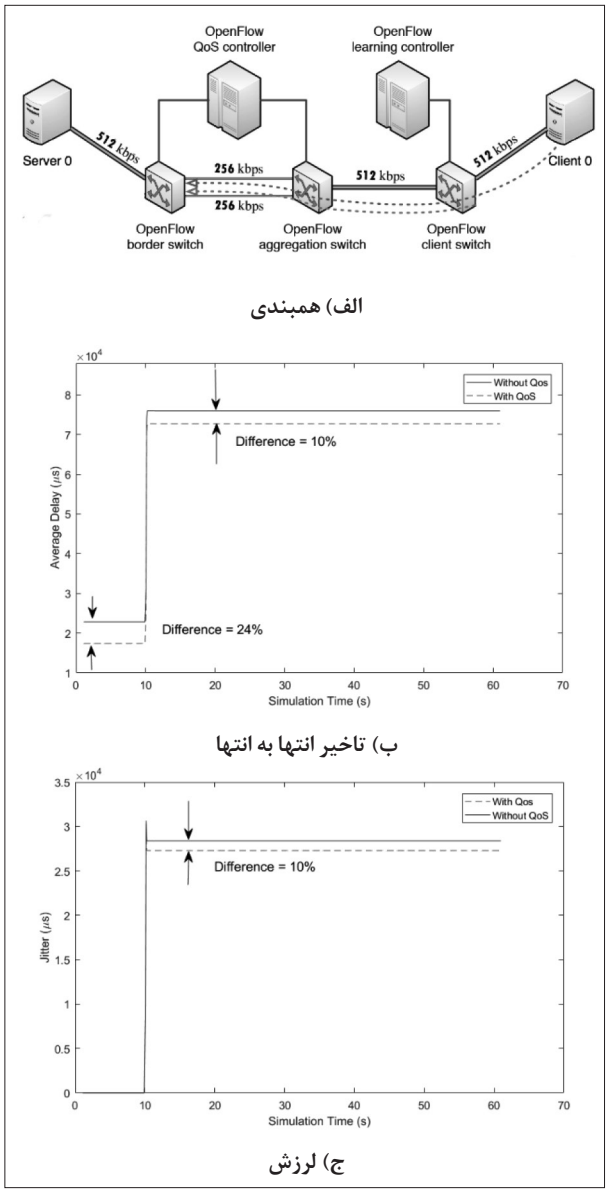
الف) توپولوژی

ب) تاخیر انتها به انتها

ج) لرزش

شکل ۸: فرانامهٔ سوم- گلوگاه با دو پیوند Mbps 1 و سایر پیوندها Mbps 2

طریق صف‌بندی و میانگیر نمودن بسته‌های صوت توسط کنترل‌کننده، اولویت بالایی به این بسته‌ها اختصاص داده می‌شود. در صورت وجود مابقی ترافیک‌ها همزمان با ترافیک صوت، آن‌ها میانگیری و ذخیره شده و پس از ارسال ترافیک‌های حساس به زمان، ارسال می‌شوند. سازوکار پیشنهادی در شبیه‌ساز شبکه ns-3 و در فرانامه‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج برتری سازوکار موجود را نشان می‌دهد. به‌طوری که در فرانامه‌های مختلف، میزان تاخیر از ۱۴ الی ۲۵ درصد، و پارامتر لرزش از ۳ الی ۱۲ درصد نسبت به حالت عدم اعمال سازوکار کاهش یافته است.



الف) همبندی

ب) تاخیر انتها به انتها

ج) لرزش

شکل۹: فرانامهٔ چهارم- گلوگاه با دو پیوند Kbps 256 و سایر پیوندها Kbps 512

مراجع

[1]Azodolmolky, S. (2013). Software defined networking with OpenFlow. Packt Publishing Ltd.

[2]Z. Guo, "Improving the performance of load balancing in software-defined networks through load variance-based synchronization," Comput. Networks, vol. 68, pp. 95–109, 2014.

[3]A. Mendiola, J. Astorga, E. Jacob, and M. Higuero, "A Survey on the Contributions of Software-Defined Networking to Traffic Engineering," IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 19, no. 2, pp. 918–953, 2017.

[4]Jarraya, Y., Madi, T., & Debbabi, M. (2014). A survey and a layered taxonomy of software-defined networking. IEEE communications surveys & tutorials, 16(4), 1955-1980.

[5]Y. Jarraya, T. Madi, and M. Debbabi, "A survey and a layered taxonomy of software-defined networking," IEEE Com-

[22]Van Adrichem, N. L., Doerr, C., & Kuipers, F. A. (2014, May). Opennetmon: Network monitoring in openflow software-defined networks. In 2014 IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS) (pp. 1-8). IEEE."
[23]Kumar, H., Gharakheili, H. H., & Sivaraman, V. (2013, December). User control of quality of experience in home networks using SDN. In 2013 IEEE International conference on advanced networks and telecommunications systems (ANTS) (pp. 1-6). IEEE.
[24]Walker, J. Q. (2002). Assessing voip call quality using the e-model. NetIQ Corporation..
[25]Handley, M., Schulzrinne, H., Schooler, E., & Rosenberg, J. (1999). SIP: Session Initiation Protocol, RFC 2543. Note http://www. ietf. org/rfc/rfc2543. txt, 48.
[26]Process Algebra with Timing. Verlag Berlin, Heidelberg: Springer, 2002.
[27] Owens II, H., & Durresi, A. (2015). Video over software-defined networking (vsdn). Computer Networks, 92, 341-356.
[28]Heller, B. (2009). OpenFlow Switch Specification 1.0. 0. Open Networking Foundation.
[29]Siniarski, B., Olariu, C., Perry, P., & Murphy, J. (2017, May). OpenFlow based VoIP QoE monitoring in enterprise SDN. In 2017 IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM) (pp. 660-663). IEEE.
[30]Olariu, C., Zuber, M., & Thorpe, C. (2017, May). Delay-based priority queueing for VoIP over Software Defined Networks. In 2017 IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM) (pp. 652-655). IEEE.
[31]Durner, R., Blenk, A., & Kellerer, W. (2015, June). Performance study of dynamic QoS management for OpenFlow-enabled SDN switches. In 2015 IEEE 23rd International Symposium on Quality of Service (IWQoS) (pp. 177-182). IEEE.
[32]Chaves, L. J., Garcia, I. C., & Madeira, E. R. M. (2016, June). Ofswitch13: Enhancing ns-3 with openflow 1.3 support. In Proceedings of the Workshop on ns-3 (pp. 33-40).
[33]OpenFlow 1.3.5. OpenFlow switch specification. OpenFlow Spec v1.3.5, Open Networking Foundation, 2015.
[34]Protocol, V. W. (2013). OpenFlow Switch Specification THIS SPECIFICATION HAS BEEN APPROVED BY THE BOARD OF DIRECTORS OF TO PUBLICATION AND SUCH CHANGES MAY INCLUDE THE ADDITION OR DELE-TION OF NECESSARY CLAIMS OF PATENT AND OTHER INTELLECTUAL PROPERTY. vol. 0, 1-205.
[35]Chaudhary, R., Sethi, S., Keshari, R., & Goel, S. (2012). A study of comparison of Network Simulator-3 and Network Simulator-2. International Journal of Computer Science and Information Technologies, 3(1), 3085-3092.
[36]J. Dede, "Simulating Opportunistic Networks: Survey and Future Directions," IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 20, no. 2, pp. 1547–1573, 2017.
mun. Surv. Tutorials, vol. 16, no. 4, pp. 1955–1980, 2014.
[6]Kreutz, D., Ramos, F. M., Verissimo, P. E., Rothenberg, C. E., Azodolmolky, S., & Uhlig, S. (2014). Software-defined networking: A comprehensive survey. Proceedings of the IEEE, 103(1), 14-76.
[7]C. Thorpe, A. Hava, J. Langlois, A. Dumas, and C. Olariu, "IMOS: Enabling VoIP QoS monitoring at intermediate nodes in an OpenFlow SDN," Proc. - 2016 IEEE Int. Conf. Cloud Eng. Work. IC2EW 2016, pp. 76–81, 2016.
[8]M. Karakus and A. Durresi, "Quality of Service (QoS) in Software Defined Networking (SDN): A survey," J. Netw. Comput. Appl., vol. 80, pp. 200–218, 2017.
[9]Y. Liu, Y. Li, Y. Wang, and J. Yuan, "Optimal scheduling for multi-flow update in Software-Defined Networks," J. Netw. Comput. Appl., vol. 54, pp. 11–19, 2015.
[10]S. N. Yang, S. W. Ho, Y. B. Lin, and C. H. Gan, "A multi-RAT bandwidth aggregation mechanism with software-defined networking," J. Netw. Comput. Appl., vol. 61, pp. 189–198, 2016.
[11]R. Braden, D. Clark, and S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview Status of this Memo-RFC 1633," Integr. Serv. Internet Archit. an Overv. Status this Memo, no. Integr. Serv. Internet Archit. an Overv. Status this Memo, p. 33, 1994.
[12]Baker, F., Braden, B., Bradner, S., ODell, M., Romanow, A., Weinrib, A., & Zhang, L. (1997). RFC2208: Resource ReSerVation Protocol (RSVP)--Version 1 Applicability Statement Some Guidelines on Deployment.
[13]Blake, S., Black, D., Carlson, M., Davies, E., Wang, Z., & Weiss, W. (1998). An architecture for differentiated services.
[14]Rosen, E., Viswanathan, A., & Callon, R. (2001). Rfc3031: Multiprotocol label switching architecture..
[15]Szigeti, T., Hattingh, C., Barton, R., & Briley Jr, K. (2013). End-to-End QoS Network Design: Quality of Service for Rich-Media & Cloud Networks. Cisco press.
[16]Kocharians, N., & Palúch, P. (2015). CCIE Routing and Switching v5. 0 Official Cert Guide, Volume 1.
[17]Valentine, M., & Morgan, B. (2015). CCNA Collaboration Official Cert Guide Library-Exams CICD 210-060 and CIVND 210-065..
[18]Yu, J., & Al-Ajarmeh, I. (2007, July). Call admission control and traffic engineering of VoIP. In 2007 Second International Conference on Digital Telecommunications (ICDT'07) (pp. 11-11). IEEE.
[19]Wallace, K. (2011). Implementing Cisco Unified Communications Voice over IP and QoS (CVOICE) Foundation Learning Guide:(CCNP Voice CVoice 642-437). Cisco Press.
[20]Carneiro, G., Fortuna, P., & Ricardo, M. (2009, October). FlowMonitor: a network monitoring framework for the network simulator 3 (NS-3). In Proceedings of the Fourth International ICST Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools (pp. 1-10)..
[21]Phemius, K., & Bouet, M. (2013, October). Monitoring latency with openflow. In Proceedings of the 9th International Conference on Network and Service Management (CNSM 2013) (pp. 122-125). IEEE.