

## Presenting a call admission control algorithm in SIP server to enhance QoS in vocal traffic over 802.11n networks

Narges Rezaei<sup>1</sup>, Mahdi Abbasi<sup>2\*</sup> and Mohammad Nassiri<sup>3</sup>

1, 2, 3- Computer Engineering Department, Engineering Faculty, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

<sup>1</sup>nargesrezai369@gmail.com, <sup>2\*</sup>abbasi@basu.ac.ir, and <sup>3</sup>m.nassiri@basu.ac.ir

Corresponding author address: Mahdi Abbasi, Department of Computer Engineering, Engineering Faculty, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, Post Code : 65175-4161.

**Abstract-** Transmitting voice over wireless LAN is a useful cost-effective technique that provides vocal conversation service in broadband wireless networks according to the 802.11 standards. In this service, SIP is responsible to provide sessions. Recent researches show that a call admission control algorithm that controls SIP sessions can guarantee the quality of service parameters in transmitting vocal data. State-of-the-art algorithms, deciding at wireless access-points and altering MAC sub-layer parameters, have high complexity and are not efficient in providing quality of service. Therefore, in this paper, we present a new algorithm that decides on accepting or rejecting new calls in a considerably small time. The Proposed algorithm considers dynamic conditions of the network including channel busy rate and the ratio of real-time traffic of channel and makes no change in MAC sub-layer parameters. Testing the proposed method on a real substrate proves its superiority as compared to the best of recent methods in providing requested level of quality of service in terms of call response time, the average duration of calls, packet loss ratio and the delay of real-time traffic.

**Keywords-** SIP, VoIP, WLAN, Access Point, Call Admission Control, IEEE 802.11n.

## ارائه یک الگوریتم کنترل پذیرش تماس در کارگزار SIP جهت ارتقای کیفیت سرویس ترافیک صوتی در شبکه‌های بی‌سیم 802.11n

نرگس رضایی<sup>۱</sup>، مهدی عباسی<sup>۲\*</sup>، محمد نصیری<sup>۳</sup>

۱، ۲\* و ۳- گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

<sup>1</sup>nargesrezai369@gmail.com, <sup>2\*</sup>abbasi@basu.ac.ir, and <sup>3</sup>m.nassiri@basu.ac.ir

\* نشانی نویسنده مسئول: مهدی عباسی، همدان، بلوار شهید احمدی روشن، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی کامپیوتر، کد پستی: ۴۱۶۱-۶۵۱۷۵

چکیده- انتقال صدا روی شبکه‌های بی‌سیم، یک فناوری پرکاربرد و مقرون‌به‌صرفه است که سرویس مکالمه‌ی صوتی را روی شبکه‌های پهنای باند، طبق استاندارد 802.11n می‌سازد. در این سرویس، پروتکل SIP، مسئول برقراری نشست‌ها می‌باشد. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که الگوریتم کنترل تماسی که نشست‌های SIP را کنترل می‌نماید، می‌تواند پارامترهای کیفیت رسانه را در ارسال داده‌های صوتی تضمین کند. الگوریتم‌های متفاوتی برای تصمیم‌گیری پذیرش تماس در نقطه دسترسی ارائه شده‌اند؛ اما به دلیل تغییر در پارامترهای زیر لایه‌ی دسترسی و یا پیچیدگی بالا در تضمین کیفیت سرویس مناسب نیستند. بنابراین، در این مقاله، الگوریتم جدیدی ارائه می‌کنیم که در کارگزار SIP، در زمانی بسیار کوتاه، در مورد پذیرش و یا رد تماس جدید تصمیم‌گیری می‌کند. الگوریتم پیشنهادی، شرایط پویای شبکه همچون نرخ اشغال کانال و درصد ترافیک بلادرنگ موجود در کانال را در نظر گرفته و تغییر در پارامترهای زیر لایه‌ی MAC ایجاد نمی‌کند. تست روش پیشنهادی روی بستر واقعی مؤید برتری آن نسبت به روش‌های اخیر مشابه و همچنین حالت پایه، در تضمین سطح مطلوب کیفیت سرویس در قالب پارامترهایی چون مدت‌زمان پاسخ به تماس‌ها، طول تماس‌ها، نرخ اتلاف و تأخیر بسته‌های بلادرنگ است.

واژه‌های کلیدی: SIP، تلفن اینترنتی، شبکه‌های بی‌سیم محلی، نقطه‌ی دسترسی، کنترل پذیرش تماس، IEEE 802.11n.

### ۱- مقدمه

VoIP که بانام تلفن اینترنتی و تلفن IP نیز شناخته می‌شود، امکان انتقال صدا و جریان چندرسانه‌ای را از طریق شبکه‌ی اینترنت فراهم می‌کند. از آنجاکه پهنای باند موردنیاز در ارسال صوت از طریق شبکه‌ی داده بسیار کم است، کاربران زیادی علاقه‌مند استفاده از تلفن‌های اینترنتی هستند. ارزان بودن، کاربرد آسان، امکان تسهیم سازی سریع تماس‌ها، استفاده‌ی بهینه از پهنای باند، توانایی ارسال با نرخ بیتی متنوع، امکان انتخاب کیفیت مکالمه و در نتیجه انتخاب

گسترش روزافزون فناوری در حوزه ارتباطات، ارتباطات محاوره‌ای همانند آنچه در گذشته انجام می‌شد، صرفاً از طریق تلفن و خطوط PSTN انجام نمی‌شود. با توجه به پررنگ شدن اینترنت در بین جوامع بشری و رشد سریع شبکه‌های محلی به‌ویژه شبکه‌های محلی بی‌سیم، این نوع ارتباطات از طریق فناوری VoIP صورت می‌پذیرد.

پذیرش و یا رد تماس در نقطه‌ی دسترسی صحیح نیست. از این رو، در این مقاله روش جدیدی را ارائه نموده‌ایم که به منظور بهبود کیفیت سرویس VoIP و با استفاده از پروتکل SIP در بستر استاندارد 802.11n، پذیرش یا رد تماس‌ها را در کارگزار SIP کنترل می‌نماید. پروتکل SIP یک پروتکل سیگنالینگ تماس است. پژوهش‌هایی که در زمینه‌ی سیگنالینگ انجام گرفته نیز بیشتر مرتبط با شبکه‌های بی‌سیم کامپیوتری هستند [۱]. الگوریتم ارائه‌شده، با استفاده از اطلاعات ارسالی از سوی نقاط دسترسی در رابطه با وضعیت کانال مشترک، در کارگزار SIP تصمیم می‌گیرد که یک تماس جدید را بپذیرد و یا رد نماید. ارزیابی روش پیشنهادی بر روی یک بستر واقعی فراهم‌شده‌ی VoIP، روی استاندارد 802.11n برتری روش پیشنهادی را در مقایسه با روش‌های موجود نشان می‌دهد.

ساختار مقاله به این ترتیب است که در بخش دوم مقاله، ملزومات فناوری صدا روی پروتکل اینترنت، پروتکل SIP و استاندارد 802.11n و چالش‌های VoWLAN مرور می‌شود. در بخش سوم، پیشینه الگوریتم‌های کنترل پذیرش تماس بررسی شده و در بخش چهارم روش پیشنهادی برای کنترل پذیرش روی کارگزار SIP توضیح داده می‌شود. بخش پنجم مقاله ضمن بیان نحوه ارزیابی بر روی بستر آزمون واقعی، به تحلیل نتایج ارزیابی روش پیشنهادی می‌پردازد. در بخش پایانی مقاله نیز به نتیجه‌گیری مقاله پرداخته می‌شود.

## ۲- مقدمه

در این بخش، ابتدا در رابطه با فناوری انتقال صدا روی پروتکل اینترنت صحبت می‌شود. سپس، کلیات پروتکل SIP مرور شده و نحوه‌ی ایجاد یک تماس را از طریق این پروتکل به اختصار توضیح می‌دهیم. در نهایت استانداردهای 802.11e و 802.11n در شبکه‌های بی‌سیم معرفی می‌شود.

### ۲-۱- صدا روی پروتکل اینترنت<sup>۱</sup>

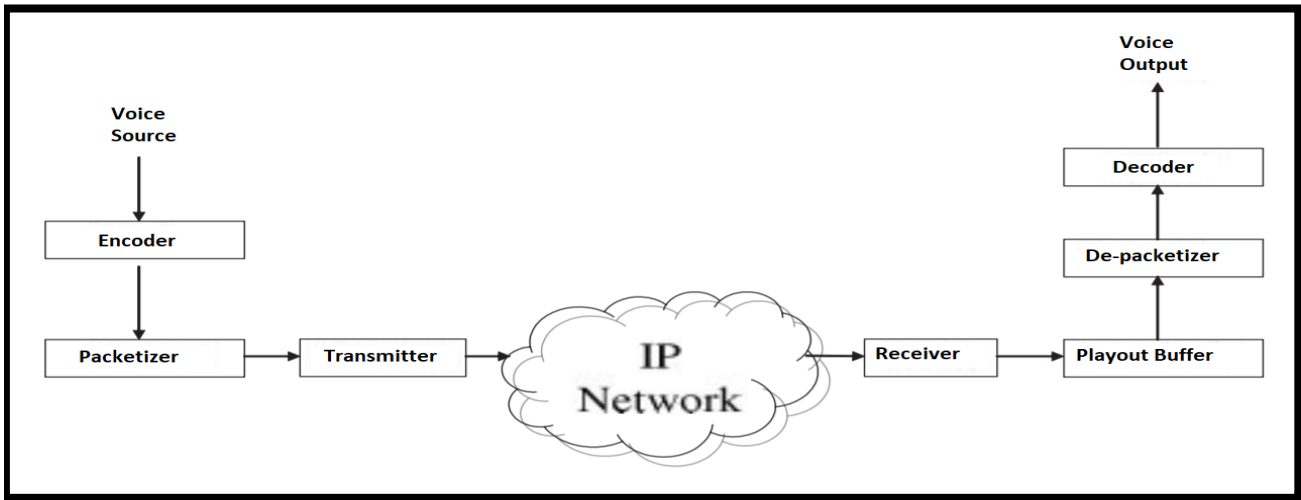
صدا روی پروتکل اینترنت که به اختصار به آن VoIP گفته می‌شود، به عنوان تلفن IP و یا تلفن اینترنتی شناخته می‌شود [۳]. این سرویس کاربردی اینترنت، در چند سال اخیر، استقبال بسیار زیادی در بین کاربران داشته است. به طوری که تعداد کاربران استفاده‌کننده از VoIP تقریباً ده برابر کاربرانی است که از فناوری انتقال ویدئو بر روی زیرساخت اینترنت استفاده می‌کنند [۶]. از جمله عوامل اصلی در موفقیت VoIP ارزان بودن تماس‌ها، کیفیت سرویس بالاتر و نفوذ بهتر در میان کاربران نهایی است [۷].

سطح کیفی سرویس بر اساس میزان هزینه از سوی کاربر از جمله مزایای این سرویس است.

اخیراً، توسعه فناوری بی‌سیم باعث شده است که برنامه‌های زیادی برای استفاده در محیط انتقال بی‌سیم تولید شوند. بر این اساس، برنامه VoIP نیز در شبکه‌های بی‌سیم به صورت VoWLAN پیاده‌سازی شده است. هرچند ابزار مذکور، به عنوان یک برنامه کاربردی مهم در اینترنت مطرح شده است اما مسئله‌ی تضمین کیفیت سرویس چالش مهمی در استفاده از آن ایجاد کرده است.

از جمله پارامترهای مهم کیفیت سرویس در شبکه‌های بی‌سیم، تأخیر و درصد اتلاف بسته‌ها است. با افزایش و کاهش تعداد جریان‌های بلادرنگ در شبکه مقادیر این پارامترها نیز تغییر یافته و کیفیت سرویس را تحت تأثیر قرار می‌دهند. الگوریتم‌های متعددی در زمینه‌ی کنترل تعداد جریان‌های صوتی و تضمین کیفیت سرویس در تلفن‌های اینترنتی، تحت عنوان الگوریتم‌های کنترل پذیرش تماس ارائه شده‌اند. اکثر این الگوریتم‌ها به منظور تضمین کیفیت سرویس برای ارتباط‌های جاری، بار روی شبکه و ازدحام شبکه را محدود نموده و به این ترتیب کیفیت سرویس را تضمین می‌نمایند. فرآیند پذیرش و یا رد تماس می‌تواند از بروز مشکل در شبکه جلوگیری کرده و بر کارایی شبکه و کیفیت سرویس تماس‌های فعال تأثیر بسزایی بگذارد. از این دیدگاه، الگوریتمی که جریان‌های زیادی را بدون در نظر گرفتن کیفیت آن‌ها بپذیرد، باعث تخطی از کیفیت سرویس ضمانت شده خواهد بود. این ایده در طراحی استانداردهای شبکه‌های بی‌سیم همچون 802.11e مورد توجه قرار گرفته است. این استاندارد با معرفی مکانیزه EDCA سعی در بهبود کیفیت سرویس و تنظیم منابع برای کنترل تعداد جریان‌های بلادرنگ داشته است؛ اما در عمل قادر به تحقق این امر نشده است. آنچه از بررسی کارهای انجام‌شده در زمینه‌ی بهبود این استاندارد برمی‌آید نشان می‌دهد که نکته کلیدی حل این مشکل، انتخاب صحیح نقطه‌ی تصمیم‌گیر در رابطه با پذیرش و یا رد تماس است.

در الگوریتم‌های ارائه‌شده‌ی اخیر، نقطه‌ی دسترسی به عنوان تصمیم‌گیرنده در رابطه با تماس جدید عمل می‌کند. نقطه‌ی دسترسی در واقع دستگاهی است که به سایر دستگاه‌های مجهز به ارتباط بی‌سیم اجازه می‌دهد تا به عضویت شبکه‌های بی‌سیم درآمده و با سایر دستگاه‌ها و شبکه‌ها ارتباط برقرار کنند. عمل تصمیم‌گیری از جمله وظایف پایه نقطه‌ی دسترسی نیست و بهتر است در این دستگاه نباشد. تصمیم برای برقراری و یا عدم برقراری هر تماس از سمت کارگزاری که خدمات تلفن اینترنتی را ارائه می‌دهد، کنترل می‌شود؛ بنابراین می‌توان گفت انجام تصمیم‌گیری در رابطه با

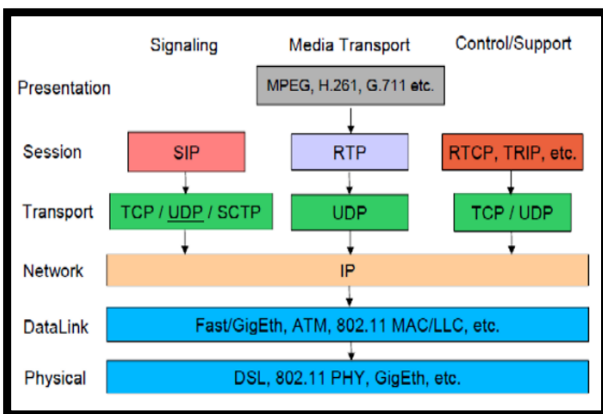


شکل ۱: سیستم VoIP [۳]

اتحادیه‌ی بین‌المللی مخابراتی تصویب شد و اولین پروتکل استاندارد کنترل تماس بود که برای VoIP طراحی شد. این پروتکل، یک پروتکل دودویی و پیچیده است که به‌طور گسترده برای VoIP مورد استفاده قرار می‌گرفت؛ اما با ظهور پروتکل ایجاد نشست SIP، درصد استفاده‌کنندگان از H.323 کاهش یافت [۱۰]. پروتکل SIP یک پروتکل مبتنی بر متن است و از نظر سادگی و کارایی بسیار مورد توجه کاربران قرار گرفته است. هم‌چنین، در مقایسه با پروتکل H.323 به سادگی می‌تواند با برنامه‌های کاربردی یکپارچه شود [۱۱-۱۵]. امروزه بسیاری از برنامه‌ها از پروتکل SIP/SDP استفاده می‌کنند [۱۶]. بنابراین در این پژوهش برای ایجاد نشست از پروتکل SIP استفاده شده است. در ادامه این پروتکل را مرور می‌کنیم.

## ۲-۲ پروتکل SIP

پروتکل SIP [۹، ۱۱-۱۵، ۱۷، ۱۸]، یک پروتکل ایجاد نشست مبتنی بر متن در لایه‌ی کاربرد است که در برقراری ارتباطات



شکل ۲: پیاده‌سازی VoIP در پروتکل استاندارد TCP/IP [۱]

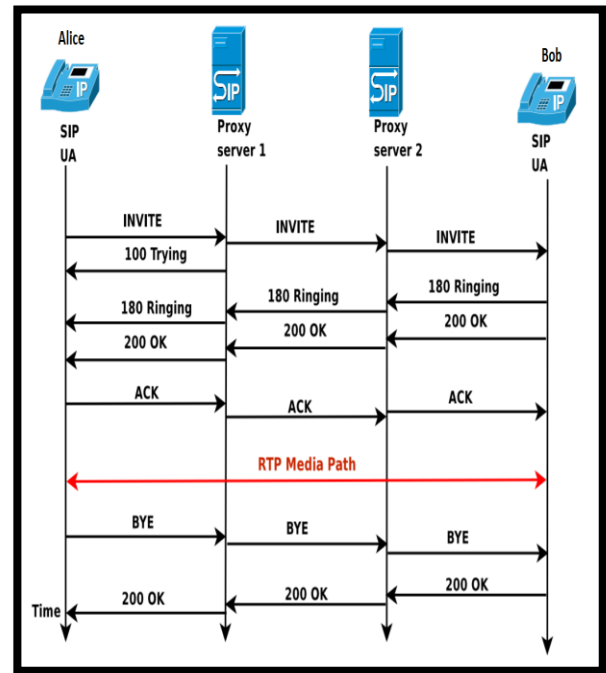
VoIP مجموعه‌ای از پروتکل‌ها برای انتقال ترافیک صوتی بر روی شبکه IP با کیفیت قابل قبول و هزینه‌ی معقول است [۳]. VoIP شامل سه جزء اساسی است که عبارت‌اند از: کدگذار، بسته‌بندی کننده و بافر خروجی. در سمت فرستنده، سیگنال‌های صوتی آنالوگ به سیگنال‌های دیجیتال تبدیل و فشرده‌سازی شده و سپس توسط کدک صوتی رمزگذاری می‌شوند [۳]. کدک به الگوریتمی گفته می‌شود که برای رمزگذاری و رمزگشایی ترافیک صوتی استفاده می‌گردد [۸]. دو دلیل عمده‌ی استفاده از کدک‌ها، کاهش حجم داده‌های صوتی جهت نگهداری و کاهش مدت‌زمان انتقال این داده‌ها می‌باشد. کدک‌های صوتی مختلفی همچون G.711، G.726، G.729 جهت استفاده در VoIP وجود دارد که توسط اتحادیه‌ی بین‌المللی مخابرات توسعه داده شده است [۸، ۹]. بعد از رمزگذاری صدا، بسته‌بندی کردن آن توسط بسته‌بندی کننده انجام می‌شود. در این فرآیند اندازه‌ی بسته‌ها با هم برابر و هر بسته شامل صدای رمزگذاری شده به همراه سرآیندهای مربوط به هر لایه است. شکل (۱) نشان‌دهنده‌ی عملیات ارسال صوت در شبکه IP است [۳]. بسته‌ها از طریق شبکه‌ی IP ارسال می‌شوند. سمت گیرنده نیز عملی عکس عمل انجام شده در سمت فرستنده انجام می‌شود [۸]. شکل (۲) پشته‌ی پروتکل VoIP را بر مبنای پشته پروتکل TCP/IP نشان می‌دهد [۱]. از جمله اقدامات اولیه برای ایجاد یک تماس بین دو کاربر در این فناوری، ایجاد نشست ۲ در تماس است. ایجاد نشست در تماس به معنی فراهم کردن بستری برای ارتباط و احراز هویت کاربران از طریق پروتکل‌های مربوطه است.

دو پروتکل مورد استفاده و رایج در ایجاد نشست VoIP، پروتکل‌های SIP و H.323 هستند. پروتکل H.323 در سال ۱۹۹۶ توسط

- INVITE: دعوت کردن از کاربر برای برقراری تماس.
- BYE: خاتمه دادن به ارتباط بین دونقطه‌ی پایانی.
- ACK: پاسخی که در تصدیق رسیدن بسته‌های INVITE ارسال می‌شود.
- OPTIONS: جمع‌آوری کردن اطلاعات مرتبط باقابلیت‌های تماس.
- REGISTER: ارائه اطلاعات در رابطه با موقعیت کاربر به کارگزار ثبت SIP.
- CANCEL: پایان دادن به جستجوی کاربر.

شکل (۳) روند برقراری و خاتمه‌ی یک نشست SIP را بین دو عامل کاربر آلیس و باب نشان می‌دهد.

در برقراری این ارتباط، کارگزار پروکسی، یک واحد منطقی و موجودیتی میانی است که نقش اصلی آن مسیره‌ی در شبکه‌ی SIP هست. از جمله وظایف این واحد کنترل دسترسی، امنیت و تصدیق هویت است. کارگزار ثبت‌کننده، درخواست‌های ثبت SIP را از کاربر می‌پذیرد. بعداً اینکه یک کاربر راه‌اندازی شد، لازم است که برای احراز هویت در کارگزار ثبت‌نام کرده و توسط یک آدرس خاص در دسترس باشد. عمل ثبت توسط انتشار درخواست ثبت از سمت کاربر به کارگزار ثبت‌کننده صورت می‌پذیرد. این کارگزار اطلاعات دریافت شده از درخواست‌های ثبت SIP را در پایگاه داده‌ای که مخصوص دامنه‌ی کاربر موردنظر است، قرار می‌دهد. کارگزار تغییر مسیر، پس از دریافت درخواست SIP از کاربر، آدرس کارگزاری که قرار است ملاقات شود را به کاربر برمی‌گرداند. در حقیقت کاربر را برای تماس با مجموعه URI های معادل هدایت می‌کند.



شکل ۳: روند ایجاد و خاتمه‌ی نشست SIP [۵]

بلادرنگ داده‌های چندرسانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پروتکل که یکی از استانداردهای تعریف شده در IETF3 است، کنترل ایجاد، تغییر، اصلاح و خاتمه‌ی نشست‌های SIP را انجام می‌دهد. پروتکل SIP سرویس خاصی ارائه نمی‌دهد اما مقدماتی را برای استفاده از سایر سرویس‌ها همچون تلفن اینترنتی و کنفرانس ویدئویی، فراهم می‌کند. معماری پروتکل SIP متشکل از دو نهاد منطقی عامل کاربر و عامل کارگزار است.

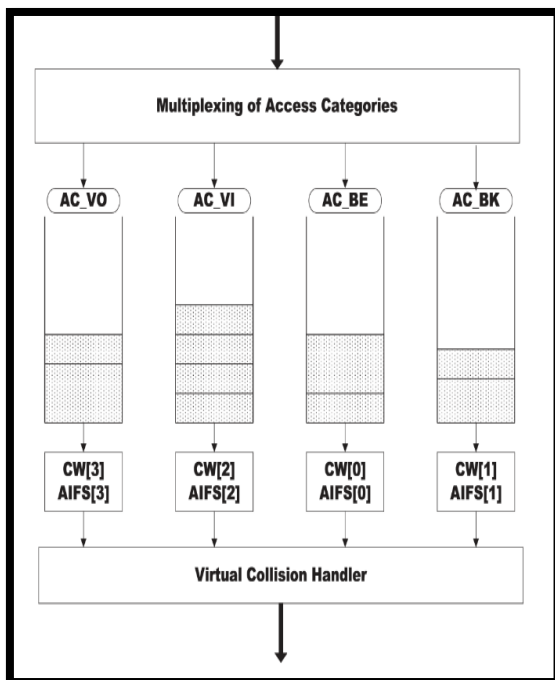
عامل کاربر یک واحد منطقی در شبکه‌ی SIP است که برای ایجاد و دریافت پیام‌های SIP مورد استفاده قرار می‌گیرد و بدین وسیله یک نشست SIP را مدیریت می‌کند. این واحد منطقی می‌تواند نقش یک کاربر سرویس‌گیرنده و یا سرویس‌دهنده را ایفا کند. عامل کاربر سرویس‌گیرنده مسئول ایجاد درخواست‌های SIP است و پاسخ و عکس‌العمل‌های SIP را می‌پذیرد. عامل کاربر سرویس‌دهنده درخواست‌های SIP را پذیرفته و یک پاسخ SIP را برمی‌گرداند. این دو عامل کاربر فقط در زمانی که نشست SIP برقرار است فعالیت می‌کنند. هر کاربر در این معماری توسط یک URI<sup>4</sup> شناسایی می‌شود. این آدرس، دامنه‌ای را که حساب کاربر در آن واقع شده است نشان می‌دهد. URI استفاده شده در معماری SIP به فرم [sip:user:password@domainname:port](mailto:sip:user:password@domainname:port) است. این دو عامل کاربر جهت ارتباط با یکدیگر و برقراری تماس، پیام‌هایی را ارسال و دریافت می‌کنند. این پیام‌ها به دودسته‌ی پیام‌های درخواست و پاسخ SIP تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از:

```
INVITE sip: Mary@station2.nctu.edu.tw SIP/2.0
From: Caller <sip: George@station1.nctu.edu.tw>; tag=abc123
To: Callee <sip: Mary@station2.nctu.edu.tw >
CSeq: 1 INVITE
Content-Type: application/sdp
Content-Disposition: session

v=0
o= George 123 001 IN IP4 station1.nctu.edu.tw
s=
c=IN IP4 station1.nctu.edu.tw
t=0 0
m=audio 4400 RTP/AVP 2 4
a=rtpmap 2 G726-32/8000
a=rtpmap 4 G723/8000
```

شکل ۴: مثالی از سیگنال INVITE [۲]

همواره به نیازمندی‌های کیفیت سرویس از جمله درصد اتلاف بسته‌ها، تأخیر و نرخ ارسال توجه داشته‌اند [۱۹]. در همین راستا، کمیته‌ی IEEE از طریق استاندارد 802.11e تلاش کرده تا قابلیت تضمین کیفیت سرویس را در شبکه‌ی بی‌سیم محلی ارائه کند. در این استاندارد چهار دسته ترافیک بهترین تلاش، پس‌زمینه، ویدئو و صدا تعریف و از هم تفکیک شده است [۲۰]. هر گروه دسترسی با اولویت بالاتر، از شانس بیشتری برای دسترسی به کانال برخوردار خواهد بود. شکل (۶) نمایی از فناوری EDCA است. از آنجایی که بسیاری از برنامه‌ها نیازمند کیفیت سرویس بالا هستند، EDCA به‌تنهایی قادر به تضمین کیفیت سرویس نخواهد



شکل ۶: مدیریت گروه‌های دسترسی در EDCA [۴]

بود [۲، ۴، ۱۶، ۲۱]؛ بنابراین نیاز به استاندارد جدیدی مطرح شد که پاسخ‌گوی کاستی‌های استانداردهای قبلی باشد. برنامه‌های چندرسانه‌ای متعددی همچون تلفن تصویری، کنفرانس ویدئویی وجود دارند که نیازمند ارسال با نرخ بالا هستند. استاندارد 802.11e که به این منظور پس از استاندارد 802.11e معرفی شده، استاندارد 802.11n است که علاوه بر فناوری EDCA، با استفاده از فناوری چندرودی-چندخروجی<sup>۵</sup> (MIMO) و پیوند کانال، نرخ انتقال فیزیکی را تا 600Mbps افزایش داده است. ویژگی بارز دیگری که در استاندارد 802.11n برای اولین بار معرفی شد، تجمیع قاب بود. این الگوریتم با تجمیع چند قاب و ارسال آن به‌عنوان یک قاب واحد، باعث کاهش سربار و در نتیجه استفاده مؤثرتر از کانال پرسرعت می‌شود [۲۲]. دو نوع تجمیع قاب به نام‌ها A-MPDU<sup>۶</sup> و

در شکل (۳)، عامل کاربر آلیس درخواست INVITE را در جهت برقراری ارتباط با عامل کاربر باب به سمت باب ارسال می‌کند. شکل (۴) سیگنال INVITE را به‌وضوح نشان می‌دهد. پیام INVITE در مسیر راه از دو پروکسی می‌گذرد که هرکدام از پروکسی‌های SIP تا رسیدن به مقصد پیام TRYING 100 را صادر می‌کنند. این پیام نشان‌دهنده‌ی سعی آن‌ها بر ایجاد ارتباط است. پس از رسیدن پیام INVITE به باب، پیام RINGING 180 که نشان‌دهنده‌ی خوردن زنگ در آن مکان است به تماس‌گیرنده ارسال می‌شود. سپس باب در جهت اطلاع‌رسانی برای اعلام موفقیت ارتباط، پیام ok 200 به آلیس ارسال می‌کند. شکل (۵) نشان‌دهنده‌ی محتوای نمونه‌ای از این نوع پیام است. پیام‌های INVITE، TRYING و RINGING، هر سه در مسیر خود از پروکسی‌ها عبور می‌کنند اما پیام ACK که آلیس در جهت رسید بسته‌های قبول درخواست به باب می‌فرستد، مستقیماً به خود کاربر باب ارسال می‌شود. بعد از برقراری نشست SIP بین این دو نقطه‌ی پایانی (آلیس و باب)، داده‌ی صوتی توسط پروتکل RTP، به‌صورت نقطه‌به‌نقطه و بدون عبور از پروکسی‌ها، بین دو کاربر منتقل می‌شود. در نهایت پیام BYE از سمت یکی از کاربرها ارسال می‌شود و نشست پایان می‌یابد [۱۷].

```
SIP/2.0 200 OK
From: Caller <sip: George@station1.nctu.edu.tw>; tag=abc123
To: Callee <sip: Mary@station2.nctu.edu.tw >
CSeq: 1 INVITE
Content-Type: application/sdp
Content-Disposition: session

v=0
o=callee 456 001 IN IP4 station2.nctu.edu.tw
s=
c=IN IP4 station2.nctu.edu.tw
t=0 0
m=audio 888 RTP/AVP 4
a=rtpmap 4 G723/8000
```

شکل ۵: مثالی از سیگنال TRYING [۲]

### ۳-۲- استاندارد 802.11n

شبکه‌های محلی بی‌سیم (WLAN) با افزایش دستگاه‌های 802.11 رشد چشمگیری داشته‌اند. نسل‌های جدید شبکه‌های محلی بی‌سیم برای تضمین کیفیت سرویس برنامه‌های کاربردی بلادرنگ نظیر جریان‌های صوتی و ویدئویی، ساخته شده‌اند. این شبکه‌ها

می‌شود. در مرحله‌ی بعد، در صورتی که پهنای باند مورد نیاز برای هر جریان بیشتر از مقدار پهنای باند متناظر با توان دست‌یافتنی مورد نظر باشد، مقدار CW کاهش و یا مقدار TXOP افزایش می‌یابد. سپس، مقدار توان دست‌یافتنی به ازای مقادیر جدید برای آن جریان تخمین زده می‌شود. در صورتی که مقدار CW و TXOP به آستانه‌ی مورد نظر رسیده باشد و نتوان برای آن جریان بر اساس پهنای باند درخواستی به توان دست‌یافتنی رسید، جریان رد و در غیر این صورت پذیرفته می‌شود. عملکرد الگوریتم پونگ در شرایط ایده آل کانال مشترک، در نقطه‌ی دسترسی و در شبیه‌ساز ارزیابی شده و پارامترهای کیفیت سرویس را بهبود بخشیده است.

سنونجول و همکاران [۲۵] در سال ۲۰۰۸ الگوریتمی تحت عنوان Novel CAC در استاندارد 802.11e ارائه دادند. این الگوریتم بر اساس اندازه‌ی پنجره‌ی ازدحام و با در نظر گرفتن حداکثر بازدهی و حداقل تأخیر، به تصمیم‌گیری در رابطه با پذیرش جریان جدید می‌پردازد. در این الگوریتم از کنترل پذیرش تماس اجباری 802.11e استفاده می‌شود و به ازای هر جریان ورودی مقدار پنجره‌ی ازدحام تغییر می‌کند. پیاده‌سازی الگوریتم مذکور در شبیه‌ساز و نقطه‌ی دسترسی می‌باشد. این روش در شرایط ایده‌آل کانال پارامترهای کیفیت سرویس را بهبود بخشیده است.

در سال ۲۰۱۲، پراسنا و همکاران [۲۶] روشی را تحت عنوان SmartCAC برای کنترل پذیرش تماس ارائه دادند. اساس این روش بر اساس تخصیص پهنای باند به ترافیک‌های بلادرنگ و غیر بلادرنگ است به طوری که ۷۵ درصد از کل پهنای باند موجود به داده‌های بلادرنگ و ۲۵ درصد باقی‌مانده به داده‌های غیر بلادرنگ اختصاص داده می‌شود. تخصیص پهنای باند ثابت نبوده و به صورت پویا در طی ایجاد تماس‌ها قابل تغییر است. به ازای هر جریان ورودی، بر اساس رابطه‌ی (۱)، مقدار پهنای باند مورد نیاز جریان محاسبه شده و در صورتی که این مقدار کمتر از مقدار کل پهنای باند موجود باشد، تماس پذیرفته می‌شود.

$$V_U = \frac{R}{len} * T_{suc} \quad (1)$$

در رابطه فوق، R مقدار نرخ ارسال داده، len طول هر بسته و  $T_{suc}$  زمان انتقال یک بسته است. این روش که به عنوان یک کنترل کننده در لایه دوم عمل می‌کند، از استاندارد 802.11e استفاده کرده و بدون تغییر در پارامترهای این استاندارد، در شرایط ایده‌آل کانال پارامترهای کیفیت سرویس را بهبود بخشیده است.

امنا چارفی و همکاران [۱۹] در سال ۲۰۱۴ روش AFA-CAC را که مبتنی بر خاصیت تجمع فریم در استاندارد 802.11n و مطابق با فناوری EDCA بود ارائه دادند. در این روش، مبنای تصمیم‌گیری برای پذیرش جریان جدید بر اساس تأخیر دسترسی و توان

A-MSDU<sup>7</sup> در این استاندارد تعریف شده‌اند. در روش A-MPDU، قاب‌ها پس از پردازش در لایه‌ی کنترل دسترسی و افزودن سرآیندهای مورد نیاز، تجمع شده و به عنوان یک قاب به لایه‌ی فیزیکی تحویل داده می‌شوند؛ اما در روش A-MSDU این تجمع قبل از پردازش‌های لایه‌ی کنترل دسترسی انجام خواهد شد. از دید مشخصه‌های مربوط به کیفیت سرویس، اگرچه تجمع قاب، باعث افزایش نرخ ارسال در لایه‌ی کنترل دسترسی می‌شود اما انتظار برای فراهم کردن تعداد قاب بیشتر در صورت پایین بودن نرخ ورود بسته‌ها، تأخیر را که یکی از مشخصه‌های مهم در کیفیت سرویس است، افزایش خواهد داد [۲۲].

#### ۴-۲-۴ VoWLAN

انتقال صدا و مکالمه‌های صوتی از طریق شبکه‌ی بی‌سیم که به اختصار به آن VoWLAN گفته می‌شود، از جمله دستاوردهای مهم VoIP است که به کاربران خدمات صحیح، قابل انعطاف و ارزانی را ارائه می‌دهد [۱]؛ اما این فناوری نیز همانند سایر فناوری‌ها دارای چالش‌هایی است. دو چالش اصلی که در VoWLAN وجود دارد عبارت‌اند از مسئله‌ی ظرفیت سیستم و مسئله‌ی کیفیت سرویس [۲۳].

کیفیت سرویس برای هر جریان صوتی به پارامترهای تأخیر، نرخ داده، نرخ اتلاف بسته و همچنین کدک انتخابی بستگی دارد. جریان صوتی انتقالی نباید بیشتر از ۱۵۰ میلی‌ثانیه تأخیر داشته باشد. همچنین درصد هدر رفتن بسته‌ها باید حداقل باشد [۲۳].

ظرفیت سیستم به معنی تعداد نشست‌هایی است که در یک زمان واحد می‌توانند از کانال شبکه‌ی بی‌سیم استفاده کنند. برقراری نشست جدید باید با در نظر گرفتن کیفیت سرویس سایر نشست‌های موجود باشد [۱]. بنابراین این دو چالش همواره در الگوریتم‌های تصمیم‌گیرنده‌ی ارائه شده برای پذیرش و رد جریان به عنوان معیار اصلی در نظر گرفته می‌شود. در قسمت بعد به مرور برخی از این الگوریتم‌ها می‌پردازیم.

#### ۳- مروری بر کارهای پیشین

کارهای متعددی در زمینه‌ی کنترل پذیرش تماس و جریان‌های صوتی صورت گرفته است که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم. پونگ و مورس [۲۴] در سال ۲۰۰۳ با ارائه الگوریتمی مبنی بر تخمین نرخ برخورد و بازدهی دست‌یافتنی، در نقطه‌ی دسترسی، به تصمیم‌گیری در رابطه با پذیرش جریان جدید پرداختند. اساس کار الگوریتم پونگ تنظیم حداقل اندازه‌ی پنجره‌ی ازدحام (CW) و فرصت زمان انتقال (TXOP) بود. در این الگوریتم به هنگام ورود تماس جدید، مقدار توان دست‌یافتنی به ازای هر جریان محاسبه



می‌دهد که استریسک با تضمین پارامترهای کیفیت سرویس، قادر به برقراری ۱۷۲ تماس هم‌زمان می‌باشد.

بن علی و همکاران [۳۰] در سال ۲۰۱۶، یک الگوریتم کنترل پذیرش تماس در شبکه‌های بی‌سیم ناهمگون و در استاندارد 802.21 ارائه دادند. این الگوریتم بر اساس رزرو منابع در جهت تضمین کیفیت سرویس در رابطه با پذیرش تماس تصمیم‌گیری می‌کند. در این روش، هر نوع تماس دارای یک سطح اولویت است. همچنین پهنای باند به چندین بخش تقسیم‌شده و هر بخش با توجه به سطح اولویت تماس به‌صورت پویا تخصیص داده می‌شود. در سال ۲۰۱۷ لینا و همکاران [۳۱]، با پیاده‌سازی یک سیستم آزمایشی VoIP با استفاده از استاندارد 802.11، به بررسی تأثیر انواع کدک‌ها به روی پارامترهای کیفیت سرویس تماس پرداختند. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که کدک G.711 نسبت به سایر کدک‌های آزمایش‌شده، برای بهینه‌سازی عملکرد، استفاده‌ی بهینه از پهنای باند و تضمین پارامترهای کیفیت سرویس مناسب‌تر است.

کیم و همکاران، در سال ۲۰۱۷ به پیاده‌سازی یک مدل تحلیلی استفاده از ارتباط دوطرفه<sup>۹</sup> (FD) در استاندارد 802.11n پرداختند. این مدل تحلیلی نشان می‌دهد که استفاده از ارتباط FD به‌جای ارتباط یک‌طرفه<sup>۱۰</sup> (HD)، باعث افزایش تعداد تماس‌ها در نقطه‌ی دسترسی می‌شود. نتایج پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در نرم‌افزار متلب نشان می‌دهد که با استفاده از ارتباط FD، ظرفیت سیستم VoIP ۱۴.۳٪ بیشتر می‌شود.

شی‌نازار و همکاران [۳۲]، در سال ۲۰۱۸ یک زمان‌بند باهدف افزایش ظرفیت VoIP در WLAN و در استاندارد 802.11n و 802.11ac ارائه دادند. طرح پیشنهادی در تمام ایستگاه‌ها و نقاط دسترسی پیاده‌سازی می‌شود. زمان‌بند با استفاده از اطلاعات موجود در سرآیند بسته‌های RTP، تأخیر شبکه و تأخیر نقطه‌به‌نقطه را محاسبه کرده و بر اساس این پارامترها در رابطه با ارسال بسته‌های صوتی، تصمیم‌گیری می‌کند. ارزیابی روش پیشنهادی در شبیه‌ساز NS3 نشان می‌دهد که الگوریتم ایشان با در نظر گرفتن حداکثر تأخیر ۱۵۰ میلی‌ثانیه، ظرفیت سیستم VoIP را افزایش داده است. مهم‌ترین نقطه‌ضعف مشترک در روش‌های موجود آن است که همه آن‌ها در نقطه‌ی دسترسی ارتباطات پیاده‌سازی شده‌اند. نقطه‌ی دسترسی، به‌عنوان یک پل ارتباطی بین سایر دستگاه‌های متصل به شبکه بی‌سیم ایفای نقش می‌کند؛ بنابراین تصمیم‌گیری در رابطه با پذیرش و یا رد تماس در حیطه‌ی وظایف این دستگاه نیست. همچنین آزمون و ارزیابی کارهای پیشین در شبیه‌ساز انجام‌شده است و بسیاری از پارامترهای دنیای واقعی در آزمون الگوریتم‌ها و نتایج لحاظ نشده است. از این‌رو در این مقاله، تصمیم‌گیری در رابطه

دست‌یافتنی است. از طریق آستانه گذاری روی این دو مقدار می‌توان کیفیت سرویس را برای جریان‌های صوتی تضمین کرد. این طرح با استفاده از کاهش تعداد MPDUها در هر مرحله، در رابطه با پذیرش و یا عدم پذیرش جریان جدید در هر گروه دسترسی تصمیم‌گیری می‌کند. در صورتی که مقدار MPDU برابر با صفر شده و با قبول جریان جدید پارامترهای کیفیت سرویس ذکرشده برای سایر جریان‌ها در حد مقبول نباشد، تماس رد خواهد شد.

در سال ۲۰۱۴ ارشد حسین و همکاران [۲۷] با استفاده از درصد حذف MSDU های صوت، الگوریتمی ارائه دادند که نسبت به پذیرش تماس جدید تصمیم‌گیری نماید. هدف اصلی در روش آن‌ها، ارائه یک الگوریتم با پیچیدگی محاسباتی کم (غیر نمایی) و با در نظر گرفتن شرایط پویای شبکه است. در این روش، فرض بر آن است که درصد حذف MSDU ها از رابطه (۲) به دست می‌آید. در این رابطه  $M[i]$  تعداد MSDU های ارسال‌شده توسط گروه دسترسی  $i$  و  $M_e[i]$  تعداد ارسال‌های ناموفق MSDU های گروه دسترسی  $i$  است؛ بنابراین  $P_e[i]$  درصد حذف MSDU های گروه دسترسی  $i$  را نشان می‌دهد.

$$P_e[i] = \frac{M_e[i]}{M[i] + M_e[i]} \quad (2)$$

در صورتی که مقدار  $P_e[i]$  برای جریان‌های صوتی کمتر از ۵ درصد باشد، تماس پذیرفته‌شده و در غیر این صورت رد می‌شود. این طرح در شرایط ایده‌آل کانال و در نقطه‌ی دسترسی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که روش مذکور مقدار تأخیر بسته‌های صوتی را کاهش داده است؛ اما بازدهی شبکه نسبت به حالت عادی که تماس‌ها بدون هیچ الگوریتم خاصی پذیرفته می‌شوند، تغییری نداشته است.

نیکیتا و همکاران [۲۸] در سال ۲۰۱۶، با ارائه الگوریتمی مبتنی بر مسئله‌ی تعدیل بار در شبکه‌های بی‌سیم، در رابطه با پذیرش و یا عدم پذیرش جریان صوتی جدید تصمیم‌گیری کردند. در این طرح چهار ایستگاه فرستنده گیرنده در نظر گرفته‌شده است که هر یک می‌توانند تماس‌های یکدیگر را کنترل کرده و در صورتی که خود ایستگاه منابع کافی را برای برقراری تماس نداشته باشد، تماس را به ایستگاه دیگر هدایت می‌کند. فرض بر این است که هر کانال به چند زیر کانال تقسیم‌شده و هر زیر کانال به چند کاربر برای ارسال داده تخصیص داده می‌شوند. از جمله دستاوردهای این طرح، افزایش تعداد نشست‌های هم‌زمان می‌باشد.

در سال ۲۰۱۶ بالیگا و همکاران [۲۹]، ظرفیت سیستم VoIP و پارامترهای کیفیت تماس را در کارگزار استریسک<sup>۸</sup> و با استفاده از پروتکل SIP، مورد ارزیابی قرار دادند. در این پیاده‌سازی دو کدک GSM و G.711 مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج ارزیابی نشان



تصمیم می‌گیرد. پارامترهایی که کارگزار SIP از نقطه‌ی دسترسی در رابطه با وضعیت کانال دریافت می‌کند عبارتند از: نرخ اشغال کانال<sup>۱۱</sup> در بازه‌ی زمانی t و درصد ترافیک بلادرنگ موجود در کانال در بازه‌ی زمانی t.

فرض کنید در بازه‌ی زمانی t یک درخواست INVITE به کارگزار رسیده است. همچنین، کارگزار در این بازه‌ی زمانی، مقدار پارامترهای نرخ اشغال کانال و درصد ترافیک بلادرنگ موجود در شبکه را از نقطه‌ی دسترسی دریافت می‌کند. طبق الگوریتم (۱)، با دریافت پیام INVITE، الگوریتم کنترل پذیرش تماس مقدار پارامترهای دریافتی از سمت نقطه‌ی دسترسی را با مقدار آستانه‌های در نظر گرفته‌شده برای هر یک از این پارامترها مقایسه می‌کند. مقدار آستانه‌ی نرخ اشغال کانال، ۹۵٪ و مقدار آستانه‌ی درصد ترافیک بلادرنگ، ۷۵٪ می‌باشد. در صورتی که در بازه‌ی زمانی t مقدار نرخ اشغال کانال بیشتر از ۹۵٪ و درصد ترافیک بلادرنگ موجود در کانال بیشتر از ۷۵٪ باشد، تماس رد شده و به کاربر پیام 503 برگردانده می‌شود. در غیر این صورت تماس پذیرفته‌شده و ادامه می‌یابد.

#### الگوریتم (۱): الگوریتم کنترل پذیرش تماس پیشنهادی

```

1: for (each time interval(t)) do
2:   if (new SIP request exists) then
3:     CHBR=RcvdChannelBusyRatio(accesspointid)
4:     RTP=RcvdRealTimePackets(accesspointid)
5:     if(CHBR >0.95)&&( RTP > 0.75) then
6:       SendToClient(503)
7:       EjectNewFlow()
8:     Else
9:       SendToClient(trying 100)
10:      AdmitNewFlow()
11:    End if
12:  End if
13: End for
    
```

نرخ اشغال کانال و نرخ استفاده‌ی مؤثر از کانال<sup>۱۲</sup> می‌توانند بر پارامترهای کیفیت سرویس تأثیرگذار باشند. نرخ اشغال کانال ( $R_b$ )، طبق رابطه‌ی (۳)، برابر با نسبت زمان اشغال کانال به کل زمان است.

$$R_b = \frac{T_{\text{success}} + T_{\text{collision}}}{T_{\text{total}}} \quad (3)$$

در رابطه فوق،  $T_{\text{success}}$  برابر با مدت‌زمان ارسال موفق،  $T_{\text{collision}}$  مدت‌زمان ارسال ناموفق و  $T_{\text{total}}$  کل زمان سپری‌شده می‌باشد. در شبکه‌های محلی بی‌سیم IEEE 802.11 می‌توان یک مقدار آستانه برای نرخ اشغال کانال به دست آورد. در این نقطه‌ی آستانه باید حداکثر بازدهی، حداقل تأخیر، حداقل نرخ برخورد و اتلاف بسته‌ها به دست آید. هم‌چنین نرخ استفاده‌ی مؤثر از کانال به حداکثر مقدار خود برسد.

با پذیرش و یا عدم پذیرش تماس از نقطه‌ی دسترسی گرفته‌شده و به کارگزار SIP سپرده‌شده است. در ادامه به تشریح الگوریتمی می‌پردازیم که بدون تغییر در پارامترهای استاندارد 802.11n، در کارگزار SIP، در موردپذیرش یا رد تماس صوتی جدید تصمیم می‌گیرد.

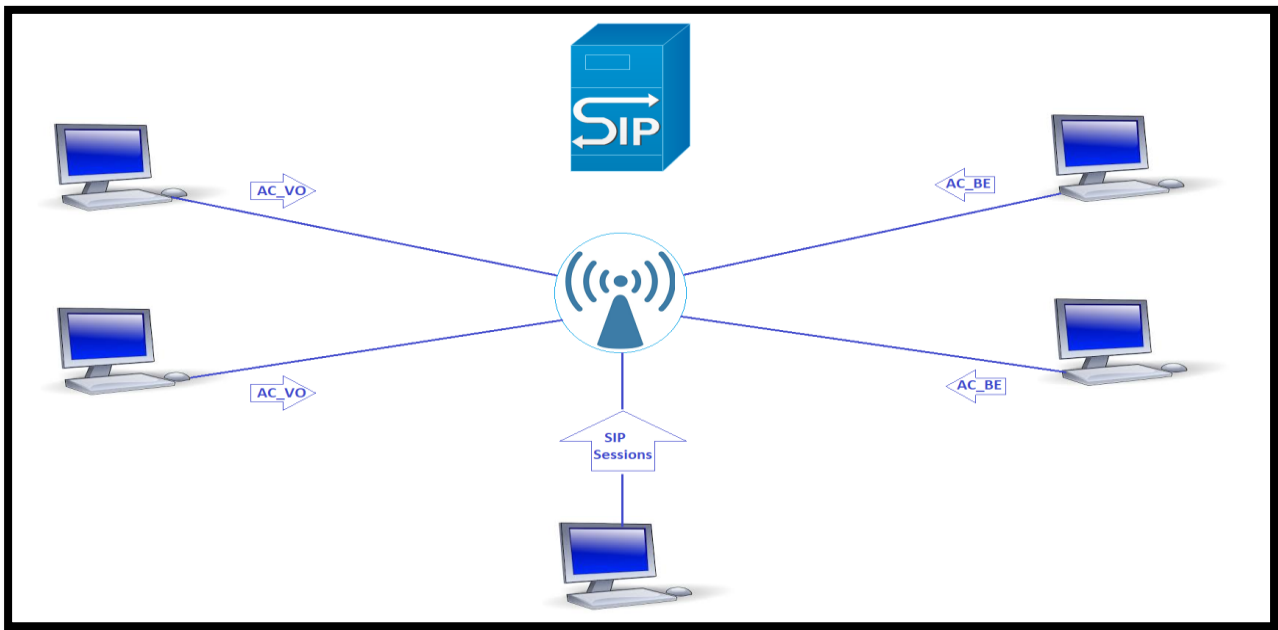
#### ۴- طرح پیشنهادی

با مروری بر کارهای پیشین و بررسی روش تصمیم‌گیری و نقطه‌ی تصمیم‌گیری در آن‌ها، چند نکته حائز اهمیت مشاهده می‌شود: نخست اینکه، الگوریتم تصمیم‌گیری باید بدون تغییر در پارامترهای لایه دو عمل کند؛ لذا، تنها باید از مقادیر این پارامترها استفاده نماید. همچنین، لازم است که پیچیدگی محاسباتی الگوریتم ارائه‌شده، زیاد نباشد. نکته مهم دیگر آن است که نقطه‌ی دسترسی به‌عنوان تصمیم‌گیر فعالیت نکند. وظیفه‌ی نقطه‌ی دسترسی برقراری ارتباط بین تجهیزاتی است که از طریق ارتباط بی‌سیم به شبکه‌ی بی‌سیم متصل شده‌اند؛ بنابراین عمل تصمیم‌گیری بهتر است در این دستگاه انجام نشود. چنین الگوریتم تصمیم‌گیری، نسبت به تعداد کاربران استفاده‌کننده مقیاس‌پذیر بوده و مستقل از وضعیت کاربران باشد.

با توجه به نکات فوق، در آزمون و ارزیابی الگوریتم ارائه‌شده تمامی حالات و شرایط محیط واقعی لحاظ شود؛ بنابراین بهتر است که ارزیابی الگوریتم در بستر آزمون واقعی انجام شود. از این‌رو در این مقاله به ارائه‌ی طرحی پرداختیم که تمامی نکات فوق را در برداشته باشد. در این بخش، ابتدا به تشریح طرح پیشنهادی پرداخته و سپس الگوریتم کنترل پذیرش مورد استفاده را در قالب یک سناریوی نمونه نمایش می‌دهیم.

#### ۴-۱ الگوریتم کنترل پذیرش تماس پیشنهادی

در طرح پیشنهادی از پروتکل SIP برای ایجاد نشست استفاده کرده‌ایم. کارگزار استفاده‌شده طبق پروتکل SIP، کارگزار SIP است. شکل (۷) هم‌بندی لازم را در سناریوی نمونه جهت اجرای روش پیشنهادی نشان می‌دهد. در این هم‌بندی، نقطه‌ی دسترسی از طریق شبکه‌ی سیمی به کارگزار SIP متصل شده و کاربران از طریق اتصال بی‌سیم به نقطه‌ی دسترسی متصل هستند. در این مقاله، کارگزار SIP را به‌عنوان نقطه تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته‌ایم و الگوریتم کنترل پذیرش تماس پیشنهادی را در کارگزار اجرا می‌کنیم. نقطه‌ی دسترسی به‌صورت لحظه‌ای اطلاعاتی را از وضعیت کانال به کارگزار SIP ارسال کرده و کارگزار به‌صورت لحظه‌ای از وضعیت شبکه و کانال ارتباطی مطلع می‌شود. کارگزار SIP با دریافت هر درخواست ایجاد تماس، نسبت به پذیرش و یا رد آن



شکل ۷: همبندی مورد نیاز در سناریوی نمونه

$$T_{col} = rts + sifs + cts + difs \quad (8)$$

با بررسی رابطه‌های (۴) تا (۸) می‌توان نرخ ایده‌آل بودن کانال  $(R_i)$ ، نرخ اشغال کانال  $(R_b)$  و نرخ استفاده‌ی مؤثر از کانال  $(R_s)$  را به دست آورد. نرخ ایده‌آل بودن کانال طبق رابطه‌ی (۹) محاسبه می‌شود. در این رابطه  $\sigma$  یک‌فاصله‌ی زمانی است که در آن ارسالی رخ ندهد.

$$R_i = \frac{p_i}{p_i + p_s T_{suc} + p_c T_{col}} \quad (9)$$

نرخ ایده‌آل بودن کانال برابر با نسبت زمان ایده‌آل بودن کانال به کل زمان سپری‌شده است. نرخ اشغال کانال طبق رابطه‌ی زیر برابر خواهد بود:

$$R_b = 1 - R_i \quad (10)$$

نرخ استفاده‌ی مؤثر از کانال بر اساس رابطه‌ی (۱۱) برابر با نسبت زمان ارسال موفق در کانال به کل زمان سپری‌شده است.

$$R_s = \frac{p_s T_{suc}}{p_i + p_s T_{suc} + p_c T_{col}} \quad (11)$$

با به دست آوردن نرخ مؤثر کانال، می‌توان بازدهی کانال را به دست آورد. مقدار بازدهی کانال  $(s)$  طبق رابطه‌ی (۱۲) برابر است با:

$$s = \frac{R_s * data}{T_{suc}} \quad (12)$$

نرخ برخورد بسته‌ها و درصد اتلاف بسته‌ها از جمله پارامترهای مهم کیفیت سرویس ترافیک بلادرنگ می‌باشد. فرض کنید  $p$  احتمال

فرض می‌کنیم که  $n$  ایستگاه متصل به نقطه‌ی دسترسی داریم که با نرخ یکسان داده ارسال می‌کنند.  $p_t$  احتمال آن است که یک ایستگاه در فاصله‌ی زمانی  $t$  داده ارسال کند. در این صورت احتمال اینکه وضعیت کانال ایده‌آل باشد بر اساس رابطه‌ی (۴) محاسبه می‌شود. طبق رابطه‌ی (۴) کانال هنگامی ایده‌آل است که هیچ ایستگاهی داده ارسال نکند.

$$p_i = (1 - p_t)^n \quad (4)$$

احتمال اینکه یک ایستگاه ارسال موفق داشته باشد طبق رابطه‌ی (۵) برابر با  $p_s$  می‌باشد. این احتمال آن در واقع نشان‌دهنده این شانس است که یک ایستگاه ارسال داده انجام دهد اما سایر ایستگاه‌ها داده‌ای ارسال نکنند.

$$p_s = np_t (1 - p_t)^{n-1} \quad (5)$$

در صورتی که بیش از یک ایستگاه به‌طور هم‌زمان داده ارسال کنند، بین بسته‌های ارسال‌شده برخورد رخ می‌دهد که موجب اتلاف بسته‌های ارسالی می‌شود. احتمال وقوع برخورد بر اساس رابطه‌ی (۶) برابر با  $p_c$  است.

$$p_c = 1 - p_b - p_s \quad (6)$$

اگر فرض کنیم  $T_{suc}$  زمان ارسال موفق یک بسته و  $T_{col}$  برابر با زمان ارسال بسته‌ای باشد که دچار برخورد شده است، آنگاه طبق رابطه‌های (۷) و (۸) و با در نظر گرفتن مکانیزم RTS/CTS خواهیم داشت:

$$T_{suc} = rts + cts + data + Ack + 3sifs + difs \quad (7)$$

درصد ترافیک بلادرنگ موجود در شبکه باشد، آنگاه مقدار  $BW_{rt}$  طبق رابطه‌ی (۱۴) به دست می‌آید.

$$BW_{rt} = \frac{P_{voice} + P_{video}}{p} \quad (14)$$

در رابطه فوق،  $P_{voice}$  تعداد بسته‌های صوتی،  $P_{video}$  تعداد بسته‌های ویدئویی و  $p$  تعداد کل بسته‌های موجود در کانال در لحظه‌ی  $t$  می‌باشد. شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در تحقیقاتی مانند [۲۶] نشان می‌دهد که با تخصیص ۷۵٪ کل از پهنای باند به ترافیک بلادرنگ، میزان تأخیر موجود در شبکه کاهش و میزان بازدهی آن افزایش می‌یابد.

دو پارامتر نرخ اشغال کانال و درصد ترافیک بلادرنگ موجود در کانال به‌صورت دوره‌ای و در فاصله زمانی  $t$  از نقطه‌ی دسترسی به کارگزار SIP ارسال می‌شوند. کارگزار بر اساس این دو پارامتر با استفاده از الگوریتم کنترل پذیرش تماس نسبت به پذیرش و یا رد تماس تصمیم‌گیری می‌کند.

انتخاب معیار نرخ اشغال کانال برای پذیرش و یا رد تماس به‌تنهایی کافی نیست چراکه استاندارد 802.11n از مکانیزم EDCA استفاده می‌کند. فرض کنید ۹۰٪ از کانال را ترافیک غیر بلادرنگ در اختیار گرفته باشد. در این صورت، با در نظر گرفتن معیار نرخ اشغال کانال، تماس‌های جدید پذیرفته نمی‌شود؛ این در حالی است که استاندارد 802.11n از مکانیزم EDCA استفاده کرده و ترافیک صوتی نسبت به ترافیک‌های دیگر اولویت بالاتری برای ارسال دارد. بنابراین، با در نظر گرفتن معیار نرخ اشغال کانال، در شرایطی که بیشترین پهنای باند کانال در دست ترافیک غیر بلادرنگ است مانع از ایجاد تماس جدید شده‌ایم. معیار درصد ترافیک صوتی نیز به‌تنهایی نمی‌تواند به‌عنوان پارامتر تصمیم‌گیری انتخاب شود. در مواقعی که ترافیک غیر بلادرنگ در کانال نباشد، ۲۵٪ درصد از کانال بدون استفاده قرار می‌گیرد.

با استفاده از این دو پارامتر برای الگوریتم تصمیم‌گیری، در صورتی که در کانال ترافیک غیر بلادرنگ نباشد، جریان‌های بلادرنگ می‌توانند از کل کانال استفاده کنند؛ بنابراین آستانه‌ی ۷۵٪ برای درصد ترافیک بلادرنگ به‌صورت پویا و با توجه به شرایط ترافیک موجود در شبکه می‌تواند تغییر کند. در بخش بعد به ارائه‌ی الگوریتم کنترل پذیرش تماس پیشنهادی، در یک سناریوی ایجاد تماس می‌پردازیم.

#### ۴-۲- سناریوی کنترل پذیرش تماس

شکل (۹)، نحوه‌ی برقراری یک تماس را با استفاده از طرح پیشنهادی نشان می‌دهد. در بازه‌ی زمانی  $t$ ، کاربر درخواست ایجاد تماس را با استفاده از پیغام INVITE را به کارگزار SIP ارسال

برخورد بسته‌های ارسالی توسط یک ایستگاه با بسته‌های حداقل یکی از همسایه‌های خود باشد. در این صورت طبق رابطه‌ی (۱۳) خواهیم داشت:

$$p = 1 - (1 - p_t)^{n-1} \quad (13)$$

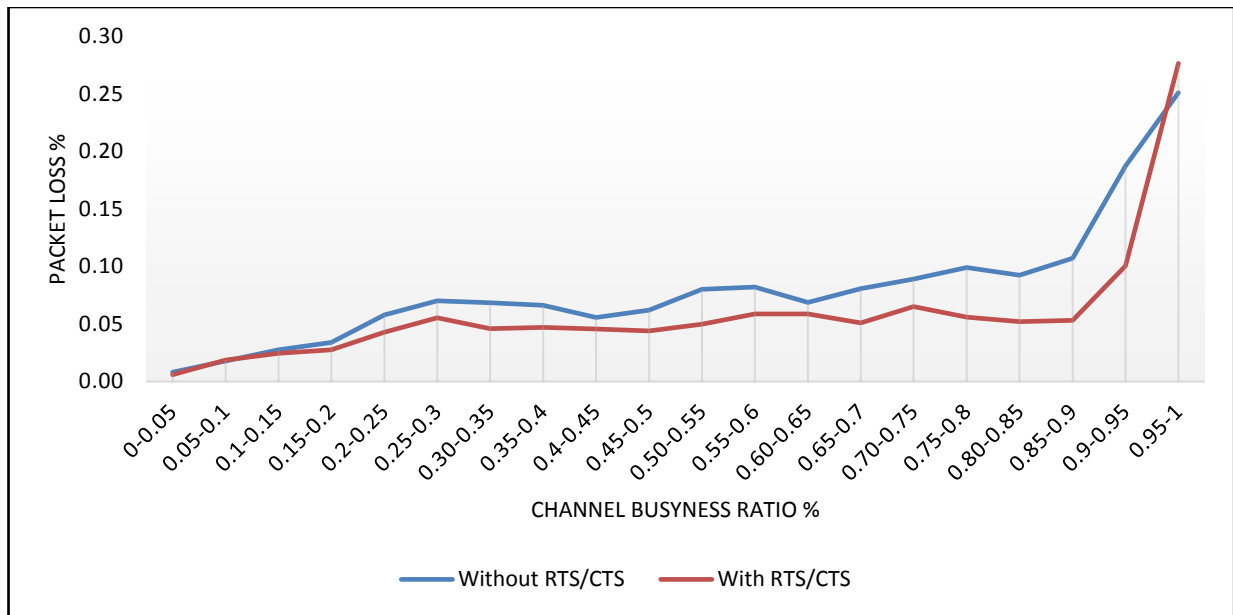
با توجه به رابطه‌ی (۱۳)، با افزایش تعداد ایستگاه‌ها و افزایش ترافیک موجود در شبکه نرخ اشغال کانال افزایش‌یافته و احتمال برخورد بسته‌ها و اتلاف آن‌ها نیز بالا می‌رود. با افزایش درصد برخورد و نرخ اتلاف بسته‌ها، درصد استفاده‌ی مؤثر از کانال و بازدهی کانال کاهش می‌یابد.

با انجام چند آزمایش روی بستر واقعی تدارک دیده‌شده طبق هم‌بندی شکل (۷)، ضمن تغییر نرخ ورود داده، به بررسی روند افزایش درصد اتلاف بسته‌ها با توجه به افزایش ترافیک ورودی و نرخ اشغال کانال پرداختیم. با افزایش بار ورودی در شبکه و افزایش نرخ اشغال شبکه، درصد اتلاف بسته‌ها همواره افزایش می‌یابد اما درصد اتلاف بسته‌ها تا هنگامی که نرخ اشغال شبکه کمتر از ۹۰٪ باشد به نسبت ترافیک ورودی و نرخ اشغال کانال افزایش می‌یابد. در صورتی که نرخ اشغال کانال از ۹۰٪ بیشتر شود و از مکانیزم RTS/CTS استفاده نشود، درصد اتلاف بسته‌ها افزایش چشمگیری می‌یابد. در صورت استفاده از مکانیزم RTS/CTS، این آستانه برابر با ۹۵٪ است. نمودار شکل (۸) روند افزایش درصد اتلاف کل بسته‌ها را نسبت به افزایش نرخ اشغال کانال نشان می‌دهد.

در شکل (۸)، نمودارهای ترسیم‌شده به رنگ قرمز و آبی به ترتیب متناظر با نرخ اتلاف در صورت استفاده از مکانیزم RTS/CTS و عدم استفاده از مکانیزم RTS/CTS هستند. میزان اتلاف به‌صورت عددی در بازه [0 1] نشان داده‌شده است. طبق رابطه‌ی (۱۱) با افزایش نرخ برخورد و میزان اتلاف بسته‌ها، نرخ استفاده‌ی مؤثر از کانال کاهش می‌یابد. با کاهش نرخ استفاده‌ی مؤثر از کانال، طبق رابطه‌ی (۱۲)، بازدهی کانال نیز کاهش پیدا می‌کند.

زای و همکاران [۳۳] نیز در شبیه‌ساز NS-2 و با تعداد ایستگاه‌های مختلف، نشان دادند که مقدار آستانه‌ی نرخ اشغال کانال در صورت استفاده از مکانیزم RTS/CTS برابر با ۹۵٪ و در صورتی عدم استفاده از آن برابر با ۹۰٪ می‌باشد. آن‌ها همچنین نشان دادند که با افزایش نرخ اشغال کانال، نرخ استفاده‌ی مؤثر از کانال نیز افزایش می‌یابد؛ اما هنگامی که نرخ اشغال کانال بیشتر از ۹۵٪ می‌شود (در صورت استفاده از RTS/CTS)، تأخیر و درصد اتلاف بسته‌ها با شتاب بیشتری افزایش می‌یابند.

معیار دوم که در الگوریتم پیشنهادی موردبررسی قرار می‌گیرد، مقدار ترافیک بلادرنگ موجود در شبکه است. اگر فرض کنیم  $BW_{rt}$



شکل ۸: درصد اتلاف بسته‌ها نسبت به افزایش نرخ اشغال کانال

#### ۵-۱- ابزار SIPp

ابزار SIPp [۳۴]، یک ابزار سنجش عملکرد پروتکل SIP است. SIPp یک ابزار کدباز به زبان C است که برای ایجاد ترافیک SIP به روی کارگزار SIP استفاده می‌شود. بعد از نصب این ابزار، می‌توان بر روی کارگزار خود تماس SIP ایجاد نمود.

در ابزار SIPp توزیع ورود تماس‌ها بر اساس توزیع پواسون با پارامتر  $\lambda$  و توزیع طول تماس بر اساس توزیع نمایی و با پارامتر  $\mu$  می‌باشد. بنابراین با تغییر  $\lambda$  و  $\mu$  می‌توان بار و حجم ترافیک روی کارگزار SIP را افزایش یا کاهش داد. SIPp شامل برخی سناریوهای عامل کاربر مشتری (UAC) و عامل کاربر کارگزار (UAS) است که با آن‌ها می‌توان چندین تماس را ایجاد نمود. سناریوهای مورد استفاده‌ی ابزار SIPp به زبان XML است. در این سناریوها، به‌راحتی می‌توان نحوه‌ی ارسال و دریافت پیام‌های SIP را تعریف کرد. همچنین، می‌توان مدت‌زمان ارسال و یا دریافت رسانه‌ی صوتی را مشخص نمود. با استفاده از این ابزار می‌توان زمان پاسخ هر تماس و طول تماس را مشخص نمود [۳۴]. از آنجاکه در برخی از تحقیقات مشابه [۳۶، ۳۵] از این ابزار برای تولید ترافیک SIP استفاده شده است، ما نیز در این مقاله برای تولید ترافیک از ابزار SIPp استفاده می‌نماییم.

#### ۵-۲- ابزار IPerf

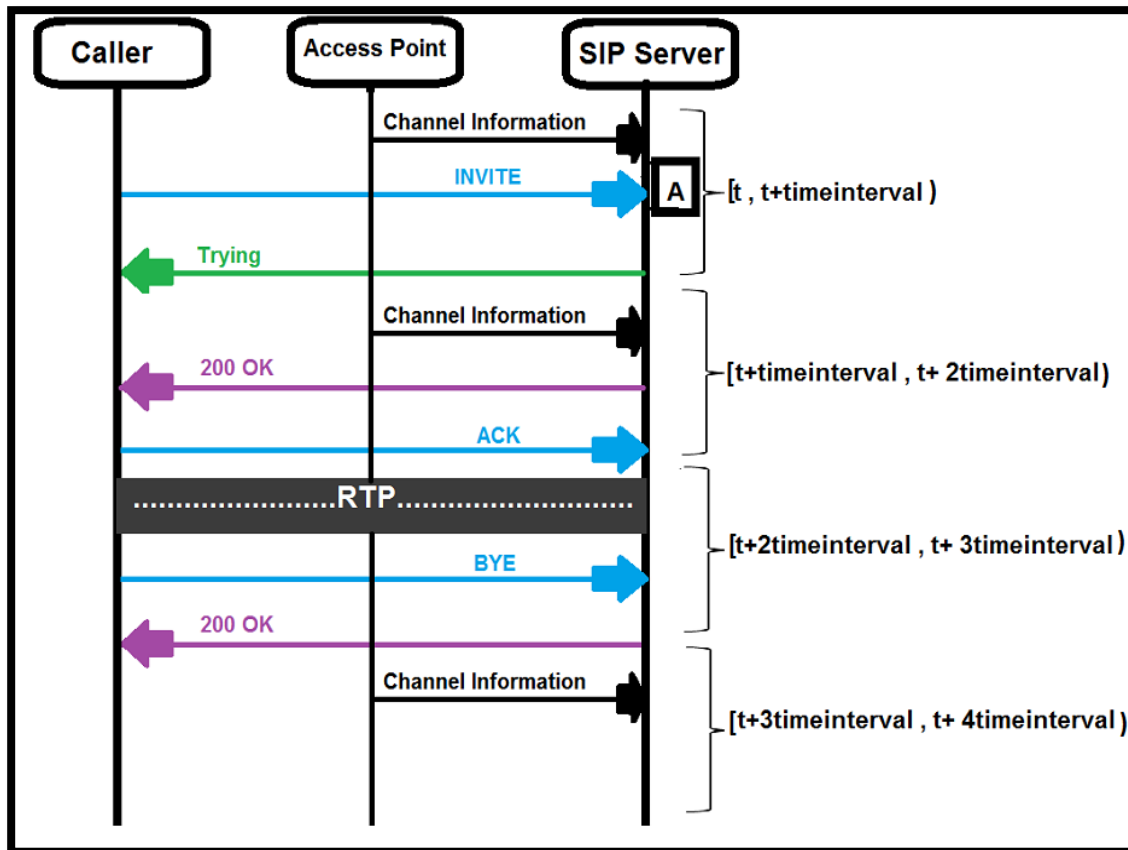
ابزار IPerf [۳۷] ابزاری است که با ارسال ترافیک در سطح شبکه به اندازه‌گیری توان عملیاتی شبکه می‌پردازد. در بسیاری از تحقیقات انجام شده همانند [۳۸] از این ابزار استفاده شده است؛ اما ما در این

می‌کند. همچنین کارگزار در هر بازه‌ی زمانی، اطلاعات وضعیت کانال را از طریق پیام channel information و به‌صورت دوره‌ای دریافت می‌کند. در وضعیت A کارگزار پیام INVITE کاربر را از دریافت کرده و با استفاده از اطلاعات دریافتی از نقطه‌ی دسترسی که شامل نرخ اشغال کانال و درصد ترافیک بلادرنگ موجود در شبکه است، نسبت به پذیرش و یا رد تماس اقدام می‌کند. در صورتی که نرخ اشغال کانال بیشتر از ۹۵٪ و درصد ترافیک بلادرنگ بیشتر از ۷۵٪ باشد، کارگزار با ارسال پیام ۵۰۳ از ایجاد تماس جلوگیری می‌کند. در غیر این صورت (وضعیت B)، کارگزار با ارسال پیام Ringing و Trying تماس را پذیرفته و به کاربر اجازه ارسال صوت را می‌دهد.

ارسال پارامترهای نرخ اشغال کانال و درصد ترافیک بلادرنگ موجود در کانال از سمت نقطه‌ی دسترسی به کارگزار با استفاده از پروتکل UDP و با بسته‌هایی با اندازه‌ی بسیار کم می‌باشد که سربار چندانی به روی کانال ایجاد نمی‌کند. لذا می‌توان از پهنای باند اشغالی برای ارسال این اطلاعات چشم‌پوشی کرد.

#### ۵- پیاده‌سازی و معرفی ابزار

در این بخش، ابتدا به‌طور مختصر ابزارهای SIPp و IPerf معرفی می‌شود. از ابزار SIPp برای ایجاد نشست و تماس‌های SIP و از ابزار IPerf برای تولید ترافیک در شبکه استفاده می‌شود. سپس، نحوه پیاده‌سازی سناریوی پیشنهادی شکل (۹) در هم‌بندی واقعی نمایش داده شده در شکل (۷) و نحوه‌ی عملکرد الگوریتم کنترل پذیرش تماس در این ساختار توضیح داده می‌شود.



شکل ۹: سناریوی الگوریتم پیشنهادی

است. اما با توجه به رشد روزافزون تلفن‌های اینترنتی، نیاز به کارگزاری احساس می‌شود که بتواند حجم بالایی از تماس‌ها را برقرار کند. کارگزار FreeSWITCH قادر به برقراری چنین حجمی از تماس‌ها می‌باشد. هرچند این کارگزار برای پیاده‌سازی به حافظه‌ی بیشتر و قدرت پردازش بالاتر نیاز دارد، در حجم بالای تماس‌ها عملکرد بهتری را نسبت به سرور Asterisk نشان می‌دهد. در این بخش در جهت مقایسه‌ی دو سرور Asterisk و FreeSWITCH، عملکردشان را در پیاده‌سازی بالیگا و همکاران [۲۹]، بررسی می‌کنیم. در این مقایسه، کدک انتخاب‌شده برای آزمون G.711 و استاندارد استفاده‌شده، 802.11n می‌باشد. همچنین تنها از ترافیک صوتی در این آزمون استفاده‌شده است. جدول (۱) درصد حذف تماس‌های صوتی و جدول (۲) نسبت اتلاف بسته‌های صوتی را به ازای کارگزارهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج پیداست، کارگزار FreeSWITCH نسبت به کارگزار Asterisk عملکرد بهتری داشته است.

#### ۴-۵- پیاده‌سازی

پیکربندی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری جهت پیاده‌سازی روش پیشنهادی از ابزارهای زیر استفاده می‌نماید:

مقاله با استفاده از IPerf به تولید ترافیک اضافی در کانال پرداخته‌ایم.

#### ۳-۵- کارگزار FreeSWITCH

FreeSWITCH [39] یک سیستم تلفنی متن‌باز<sup>۱۳</sup> است که هدف اولیه از طراحی آن، ایجاد یک سیستم تلفنی ماژولار، قابل‌گسترش، پایدار و قادر به پشتیبانی از سیستم‌عامل‌های مختلف بوده است. FreeSWITCH با زبان برنامه‌نویسی C پیاده‌سازی شده و بر روی سیستم‌عامل‌های Windows، Mac OSX، BSD، Linux و سایر توزیع‌های UNIX قابل اجرا است. در این سیستم تلفنی، از فناوری‌ها و پروتکل‌های ارتباطی مختلفی مانند SIP، H323، Skype و GoogleTalk پشتیبانی می‌شود. این کارگزار توانایی رسیدن به حجم بالایی از تماس‌ها را دارد. برای شرکتی با هزاران نفر از کارمندان و یا یک مرکز تماس با صدها کاربر، این مورد بخش جدانشدنی از فرآیند تصمیم‌گیری است و دلیلی برای انتخاب FreeSWITCH محسوب می‌شود. ما در این مقاله از این کارگزار استفاده کرده‌ایم. در پیاده‌سازی‌های قبلی اکثرًا از کارگزار Asterisk استفاده‌شده است. نسخه‌های جدیدتر کارگزار Asterisk قادر به برقراری ۴۴۰ تماس هم‌زمان در سیستم می‌باشند. بنابراین، می‌توان گفت که Asterisk برای سازمانی کوچک، با تعداد کاربران کم مناسب

جدول ۱: مقایسه‌ی درصد حذف تماس‌ها در کارگزارهای مختلف

درصد رد تماس	تعداد تماس‌ها	
۵	۱۷۳	Asterisk
۴	۲۰۰	FreeSWITCH

جدول ۲: مقایسه‌ی درصد اتلاف بسته‌ها در کارگزارهای مختلف

درصد اتلاف بسته‌های صوتی	تعداد تماس‌ها	
۳	۸۶	Asterisk
۳	۲۰۰	FreeSWITCH

مکانیزم RTS/CTS استفاده شده است. بسته‌ها طبق استاندارد 802.11n، برچسب‌گذاری شده و ارسال می‌شوند. پیام‌های SIP نیز، جز گروه دسترسی VO، برچسب‌گذاری شده‌اند. در چارچوب پیشنهادی، تنها از یک نقطه‌ی دسترسی استفاده می‌گردد و علاوه بر این هیچ نقطه‌ی دسترسی دیگری در نزدیکی نقطه‌ی دسترسی وجود ندارد. همچنین هیچ ایستگاه دیگری به جز ایستگاه‌های ذکر شده، برای ارسال داده، در توپولوژی مورد نظر وجود ندارد. در هر آزمایش از مفهوم تعداد تماس در ثانیه (CPS) استفاده شده است که نشان‌دهنده‌ی تعداد تماس‌هایی است که در هر ثانیه از سمت کاربران درخواست می‌شود. آزمایش در چندین اجرا، به ازای CPS های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵، در بازه‌های ۶۰ ثانیه‌ای، تکرار شده است و نتایج حاصل، میانگین نتایج به دست آمده می‌باشد. فرض بر این است که پس از برقراری تماس، به مدت ۱۰۰ ثانیه ترافیک صوتی ایجاد می‌شود. در تمامی آزمایش‌ها، حالت ذخیره‌ی توان غیرفعال می‌باشد. در ادامه به تحلیل نتایج حاصل از پیاده‌سازی سناریوی مذکور می‌پردازیم.

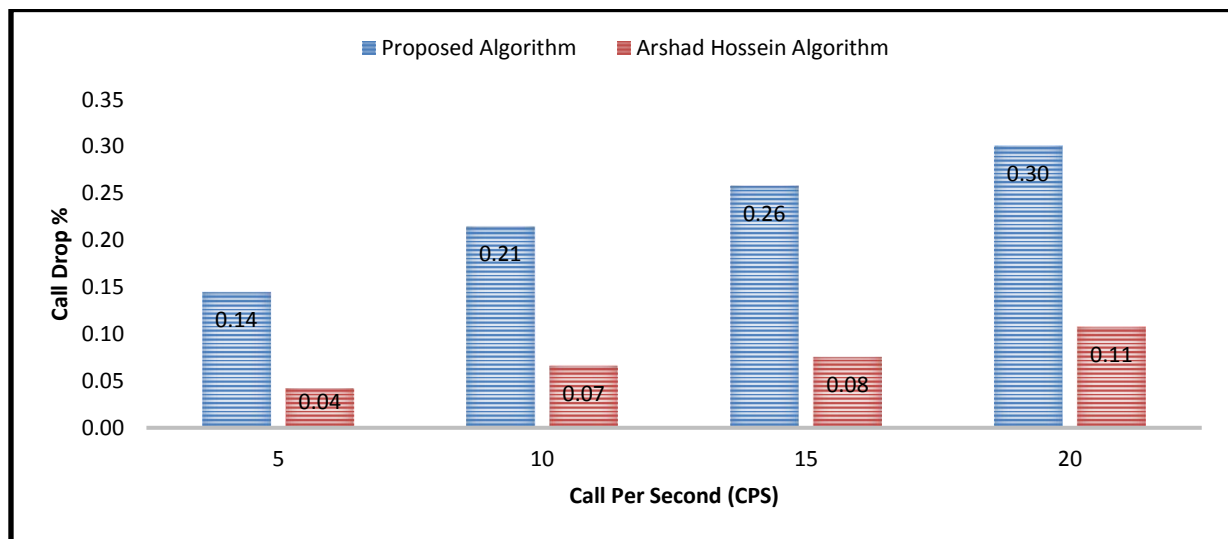
#### ۶- ارزیابی نتایج

در این بخش به بررسی کارایی طرح پیشنهادی پرداخته می‌شود. الگوریتم پیشنهادی را می‌توان از لحاظ درصد حذف تماس‌ها، میانگین طول تماس‌ها، میانگین مدت‌زمان پاسخ به تماس‌ها و درصد هدر رفتن قاب‌های بلادرنگ مورد ارزیابی قرارداد. تمامی ارزیابی‌ها، نمودارهای آبی نشان‌دهنده‌ی الگوریتم پیشنهادی، نمودارها قرمز نشان‌دهنده‌ی الگوریتم ارائه شده در [۲۷] و نمودارهای سبز نشان‌دهنده‌ی حالت پیش فرض (بدون الگوریتم) می‌باشد.

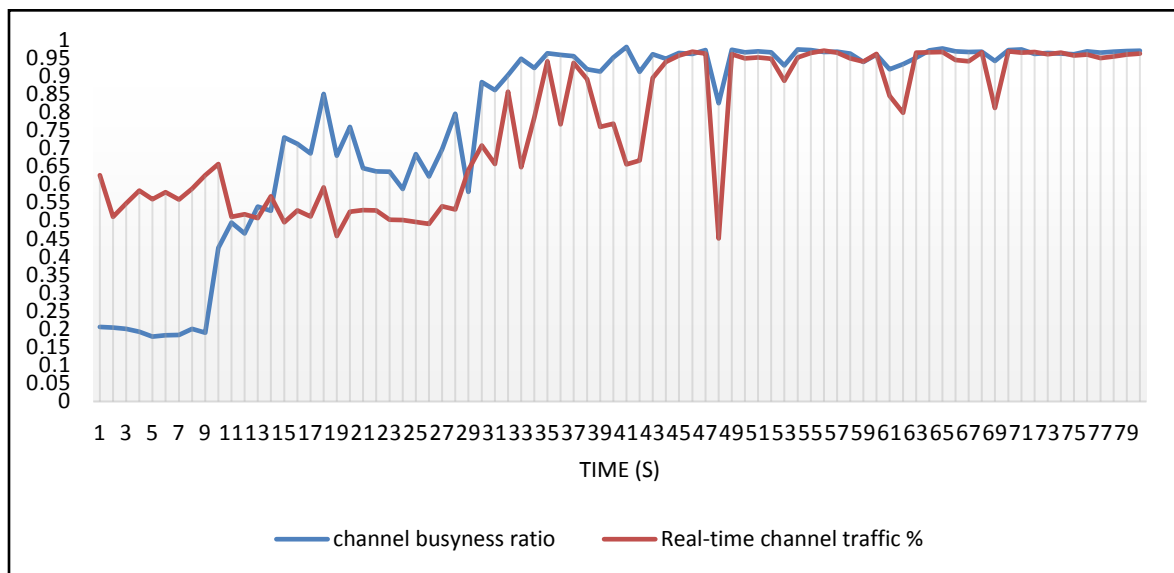
- یک کارگزار SIP که به‌عنوان کارگزار رسانه هم مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- یک نقطه‌ی دسترسی بر پایه‌ی استاندارد 802.11n که از QoS پشتیبانی می‌کند.
- ابزار SIPp که برای تولید ترافیک SIP و ایجاد جریان صوتی در محیط آزمایشی استفاده می‌شود.
- ابزار IPerf که برای تولید ترافیک در سطح شبکه استفاده می‌شود.

شکل (۷) هم‌بندی سخت‌افزاری مورد نیاز روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. کارگزار SIP و نقطه‌ی دسترسی از طریق شبکه‌ی سیمی به یکدیگر متصل هستند. نقطه‌ی دسترسی نیز به صورت دوره‌ای اطلاعات نرخ اشغال کانال و درصد ترافیک بلادرنگ موجود در کانال را به اطلاع کارگزار می‌رساند. کاربران از طریق اتصال بی‌سیم به نقطه‌ی دسترسی با یکدیگر و با کارگزار SIP در ارتباط هستند. ابزار SIPp به روی سیستم 10.42.0.14 نصب شده است و تماس‌های SIP را ایجاد می‌کند. جریان‌های صوتی که از طریق SIPp ارسال می‌شوند، دارای کدک G.711 [۲۹, ۴۰] هستند. برای تولید ترافیک مازاد در کانال، سیستم 10.42.0.16 از طریق ابزار Iperf به سیستم 10.42.0.15 ترافیک صوتی ارسال کرده و سیستم 10.42.0.13 ترافیک BE ارسال می‌کند.

در بین الگوریتم‌های اخیر، روش ارائه شده توسط ارشد حسین و همکاران [۲۷] به دلیل نزدیکی ساختار، پویایی الگوریتم بر اساس شرایط کانال و پیچیدگی پایین، به‌عنوان نزدیک‌ترین کار رقیب مورد استفاده و مقایسه قرار گرفته است؛ بنابراین برای ارزیابی روش پیشنهادی، نتایج الگوریتم پیشنهادی کنترل تماس باحالتی که تماس‌ها بدون هیچ مکانیزم خاصی پذیرش شوند و نیز با الگوریتم ارائه شده توسط ارشد حسین و همکاران [۲۷] مقایسه شده است. آستانه‌ی درصد اتلاف قاب‌های صوتی برای الگوریتم ارشد حسین و همکاران به دلیل شرایط کانال، ۱٪ در نظر گرفته شده است. هر دو روش در محیطی یکسان با کارت شبکه‌ی ath9k و با نرخ‌های ورود تماس متفاوت، مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. در انجام آزمایش‌ها از



شکل ۱۰: نرخ رد تماس‌ها



شکل ۱۱: نرخ اشغال و نرخ ترافیک بلادرنگ کانال

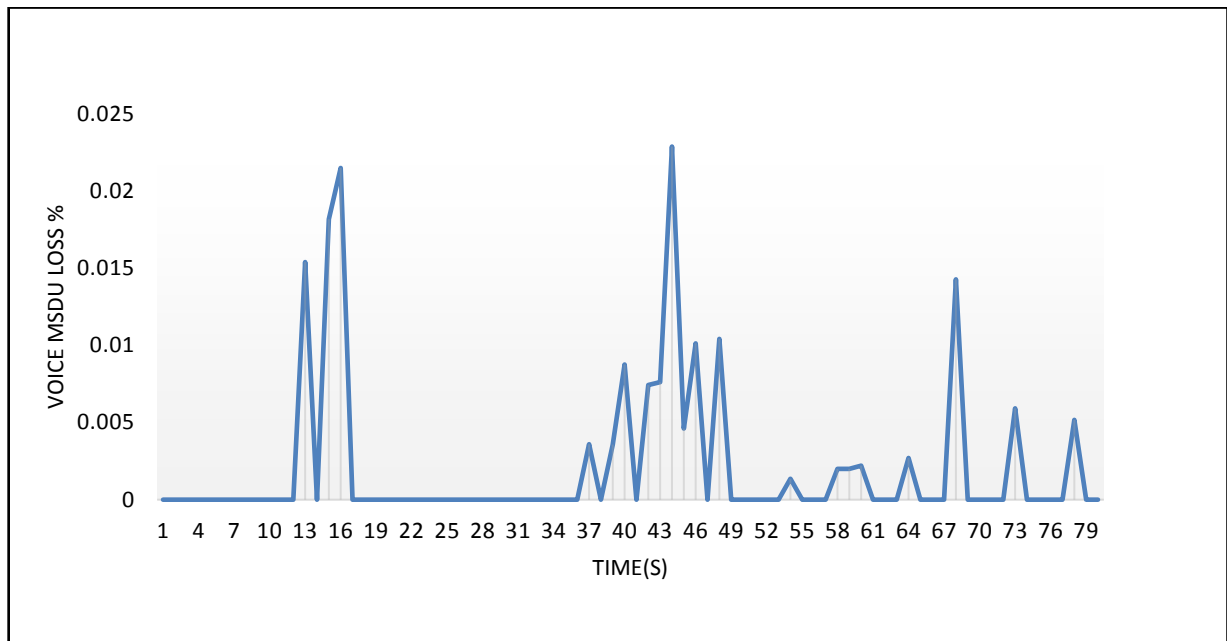
کانال، درصد ترافیک بلادرنگ موجود در کانال و هم‌چنین نرخ اتلاف بسته‌ها بالا رفته و نرخ حذف تماس‌ها در الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم ارشد حسین و همکاران نیز بیشتر می‌شود؛ اما الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم ارشد حسین و همکاران در شرایط یکسانی که به شبکه اعمال می‌شود، تماس‌های بیشتری را حذف می‌نماید. دلیل این رفتار، دید کلی الگوریتم نسبت به کانال و کل ترافیک‌های موجود در کانال است.

نمودار شکل (۱۱) روند افزایش نرخ اشغال کانال و نسبت ترافیک بلادرنگ موجود در کانال را در ۸۰ ثانیه‌ی اول یکی از آزمایش‌ها که بدون الگوریتم کنترل پذیرش تماس اجرا شده نشان می‌دهد. با توجه

#### ۶-۱- درصد حذف تماس‌ها

هر الگوریتم کنترل پذیرش تماس، بر اساس معیارهای تصمیم‌گیری خود اقدام به حذف برخی تماس‌ها می‌کند. با پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم ارشد حسین و همکاران [۲۷] در چارچوب پیشنهادی، به‌صورت تقریبی نسبت تماس‌های حذف‌شده توسط کارگزار SIP را به‌دست آوردیم. شکل (۱۰) نسبت حذف تماس‌ها را به ازای تعداد تماس‌های واردشده در ثانیه، به‌صورت عددی در بازه [0 1] نشان می‌دهد. با افزایش تعداد تماس‌ها در ثانیه، کانال ارتباطی دچار ازدحام شده، نرخ اشغال





شکل ۱۲: روند اتلاف MSDU های صوتی

کارگزار برسد، هر ۱۵ درخواست تماس حذف می‌شود. بنابراین، با افزایش تعداد تماس‌های وارد شده به کارگزار، نرخ اتلاف تماس‌ها نیز افزایش می‌یابد. با توجه به نرخ حذف تماس‌ها، اگر توان پردازشی کارگزار بالا باشد و پردازنده‌های اختصاص داده شده به کارگزار و حافظه‌ی اجرایی در کارگزار، جواب‌گوی برقراری تعداد بالای تماس‌های هم‌زمان باشند، تعداد نشست‌های هم‌زمان در کارگزار، تقریباً برابر با اعداد موجود در جدول (3) خواهد بود.

تعداد تماس‌هایی که توسط الگوریتم ارشد حسین و همکاران برقرار می‌شوند، بیشتر از تعداد تماس‌هایی است که توسط الگوریتم پیشنهادی برقرار می‌شوند؛ این در حالی است که الگوریتم پیشنهادی پارامترهای کیفیت سرویس را نسبت به الگوریتم ارشد حسین بهتر تضمین می‌کند.

حذف تعداد تماس‌های بیشتر، به معنی برتری روش پیشنهادی نیست؛ بلکه به این معنی می‌باشد که الگوریتم پیشنهادی با توجه به دید وسیعی که از کانال دارد، قابلیت تشخیص ازدحام در کانال را در شرایط اعمال شده داشته و به نسبت شرایط در رابطه با پذیرش و عدم پذیرش تماس تصمیم گرفته است.

#### ۶-۲- مدت زمان پاسخ

مدت زمان پاسخ، مدت زمانی است که کاربر پیام INVITE را ارسال کرده و پاسخ آن را برای شروع تماس دریافت می‌کند. زمان پاسخ در یک تماس، به‌عنوان یک شاخص در سامانه‌های VoIP در نظر گرفته می‌شود. کاهش این شاخص از جمله اهداف تلفن‌های اینترنتی است.

به این نمودار، در ثانیه‌های اول اجرا که نرخ ورود ترافیک VO و BE از سمت ایستگاه‌های تولید ترافیک مازاد برابر بوده است، درصد ترافیک بلادرنگ موجود در کانال در نزدیکی محور ۵۰ درصد می‌باشد. با گذشت زمان و افزایش ترافیک صوتی حاصل از تماس‌ها، درصد ترافیک بلادرنگ موجود در کانال نیز افزایش پیدا می‌کند. علاوه بر این با افزایش ارسال ترافیک از سمت ایستگاه‌ها، نرخ اشغال کانال نیز بالا می‌رود؛ به‌طوری‌که از ثانیه ۳۵ اجرا به بعد، شاهد نقاطی هستیم که در آن نقاط آستانه‌ی ۷۵ درصدی ترافیک‌های بلادرنگ و آستانه‌ی ۹۵ درصدی نرخ اشغال کانال، حاصل می‌شود. اگر در این نقاط تماسی جدیدی به کارگزار وارد شود و کارگزار از الگوریتم کنترل پذیرش تماس پیشنهادی استفاده کند، تماس را رد خواهد کرد.

نمودار شکل (۱۲) نیز نرخ اتلاف MSDU های صوتی را در همان آزمایش نشان می‌دهد. در برخی زمان‌ها از ۸۰ ثانیه‌ی اول اجرا، میزان اتلاف MSDU ها، حد آستانه را رد کرده است و موجب حذف تماس توسط کارگزار شده است. با مشاهده‌ی نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های مختلف و همچنین نمودارهای (۱۰) و (۱۱) و (۱۲)، می‌توان گفت که نرخ حذف تماس‌ها در الگوریتم پیشنهادی از الگوریتم ارشد حسین و همکاران [۲۷] بیشتر است.

تعداد حذف تماس‌ها با افزایش تعداد تماس‌ها در ثانیه، افزایش می‌یابد. فرض کنید در ثانیه‌ی ۵۰ از اجرا، الگوریتم بر اساس معیارهای خود، در کارگزار اقدام به حذف تماس کند. در صورتی‌که در این نقطه‌ی زمانی سه درخواست ایجاد تماس به کارگزار برسد، هر سه تماس حذف می‌شود و در صورتی‌که ۱۵ درخواست تماس به

جدول ۳: تعداد نشست‌های همزمان در الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها

تعداد تماس در ثانیه	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵
الگوریتم کنترل پذیرش تماس پیشنهادی	۲۵۸	۴۷۴	۶۶۶	۸۴۰	۹۰۰
الگوریتم کنترل پذیرش تماس ارشد حسین و همکاران [27]	۲۸۸	۵۵۸	۸۲۸	۱۰۶۸	۱۳۲۰
حالت عادی	۳۰۰	۶۰۰	۹۰۰	۱۲۰۰	۱۵۰۰

در این سه آزمایش، تقریباً در ۴۰ تماس اول، میزان زمان پاسخ به تماس‌ها در هر سه الگوریتم برابر است؛ اما با افزایش بار روی کارگزار و همچنین افزایش ترافیک موجود در کانال، این زمان افزایش می‌یابد.

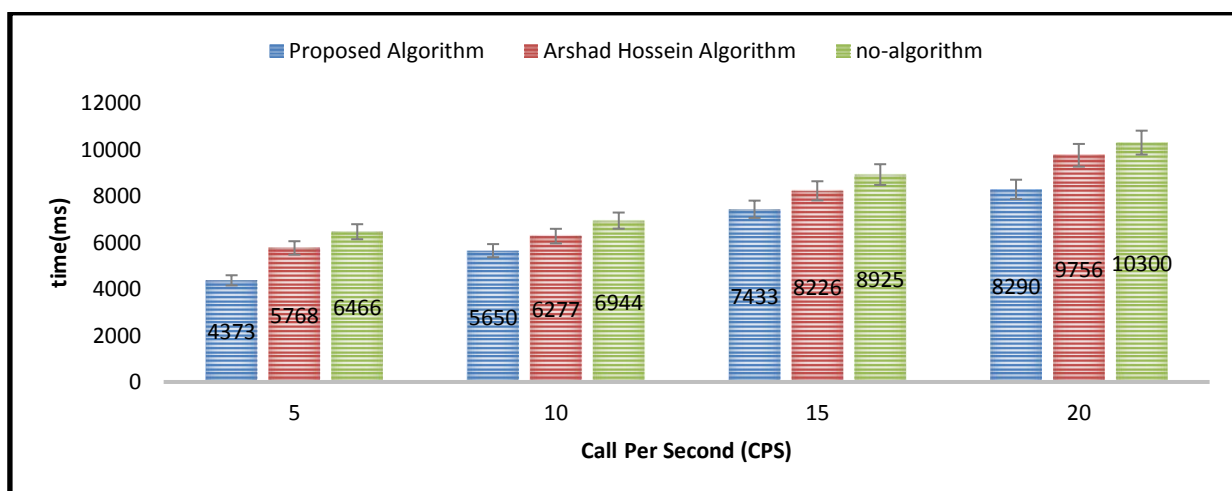
علت کاهش زمان پاسخ در الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم ارشد حسین و همکاران، حذف بیشتر تماس‌های جدید است. در نمودار شکل (۱۰)، الگوریتم پیشنهادی برای پنج تماس در ثانیه، ۱۴ درصد از تماس‌ها را رد کرده و الگوریتم ارشد حسین و همکاران چهار درصد از تماس‌ها را رد می‌کند؛ بنابراین الگوریتم پیشنهادی بیشتر از الگوریتم ارشد حسین و همکاران، ترافیک موجود روی کانال مشترک و بار روی کارگزار را کاهش می‌دهد. همین امر موجب کاهش تأخیر در کانال، افزایش سرعت کارگزار در پاسخ به نشست‌های جدید و در نتیجه کاهش میانگین زمان پاسخ می‌شود. بهبود میانگین مدت زمان پاسخ در CPS های ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ نیز دیده می‌شود.

با توجه به نمودار شکل (۱۳)، مشخص است که با افزایش نرخ ایجاد تماس‌ها، به دلیل ازدحام در کانال ارتباطی و اشغال کارگزار SIP، میانگین زمان پاسخ نیز افزایش می‌یابد.

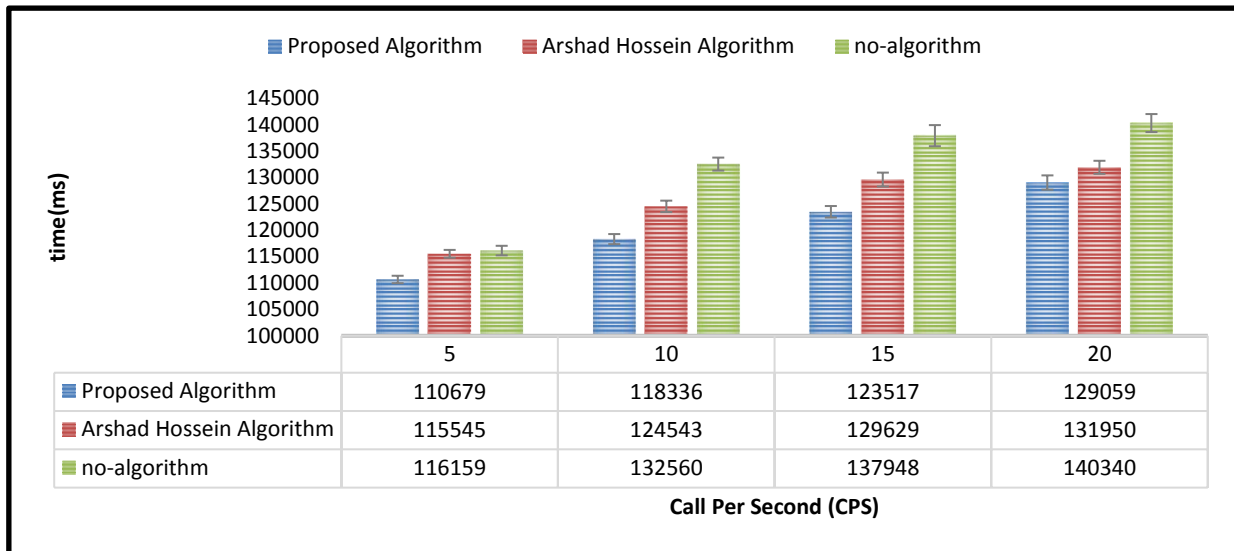
### ۳-۶- طول تماس

شاخص مهم دیگری که در ارزیابی تلفن‌های اینترنتی مطرح است، طول تماس می‌باشد. طول تماس برابر مقدار زمانی است که کاربر

نمودار شکل (۱۳) میانگین مدت زمان پاسخ را در سه حالت الگوریتم کنترل پذیرش تماس پیشنهادی، الگوریتم کنترل پذیرش تماس ارشد حسین و همکاران [۲۷] و همچنین حالت عادی نشان می‌دهد. طبق نمودار، اگر در هر ثانیه پنج تماس از سمت کاربر به کارگزار SIP ارسال شود، در حالت عادی، میانگین مدت زمان پاسخ به تماس‌ها ۶۴۶۶ میلی‌ثانیه و در صورتی که از الگوریتم ارشد حسین و همکاران استفاده شود این زمان برابر ۵۷۶۸ میلی‌ثانیه است؛ اما با استفاده از الگوریتم پیشنهادی میانگین زمان پاسخ به تماس‌ها ۴۳۷۳ میلی‌ثانیه به دست آمده است؛ بنابراین با ورود پنج تماس در ثانیه، الگوریتم پیشنهادی میانگین مدت زمان پاسخ را نسبت به الگوریتم کنترل پذیرش تماس الگوریتم ارشد حسین و همکاران [۲۷] و نیز نسبت به حالت عادی کاهش داده است. علت آن است که الگوریتم‌های مذکور با حذف تماس‌ها، از ایجاد ترافیک بیشتر به روی کانال مشترک جلوگیری می‌کنند ولی در حالت عادی الگوریتم کنترل پذیرش تماس، تمامی تماس‌ها توسط کارگزار پذیرفته شده و در سطح کانال، به ارسال رسانه و ترافیک می‌پردازند. علاوه بر این با حذف تماس‌ها، بار روی کارگزار SIP و تعداد نشست‌های روی کارگزار کمتر شده و کارگزار با سرعت بهتری به پردازش نشست جدید می‌پردازد. شکل (۱۴) روند افزایش زمان پاسخ را در سه آزمایش انجام شده، هنگامی که پنج تماس در هر ثانیه به سمت کارگزار SIP ارسال می‌شود، نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: نمودار میانگین مدت زمان پاسخ تماس



شکل ۱۴: نمودار میانگین طول تماس‌ها

صوتی، یکی از پارامترهای مهم در تضمین کیفیت سرویس است که کاهش آن موجب افزایش کیفیت جریان‌های صوتی می‌گردد. کاهش مقدار اتلاف MSDU های صوتی تأثیر چشم‌گیری در تضمین کیفیت سرویس خواهد داشت. الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم ارشد حسین و همکاران، در کاهش تعداد اتلاف بسته‌ها تقریباً موفقیتی یکسان داشته‌اند. بنابراین، می‌توان گفت که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند در جهت بهبود کیفیت سرویس ترافیک بلادرنگ مورد استفاده قرار گیرد.

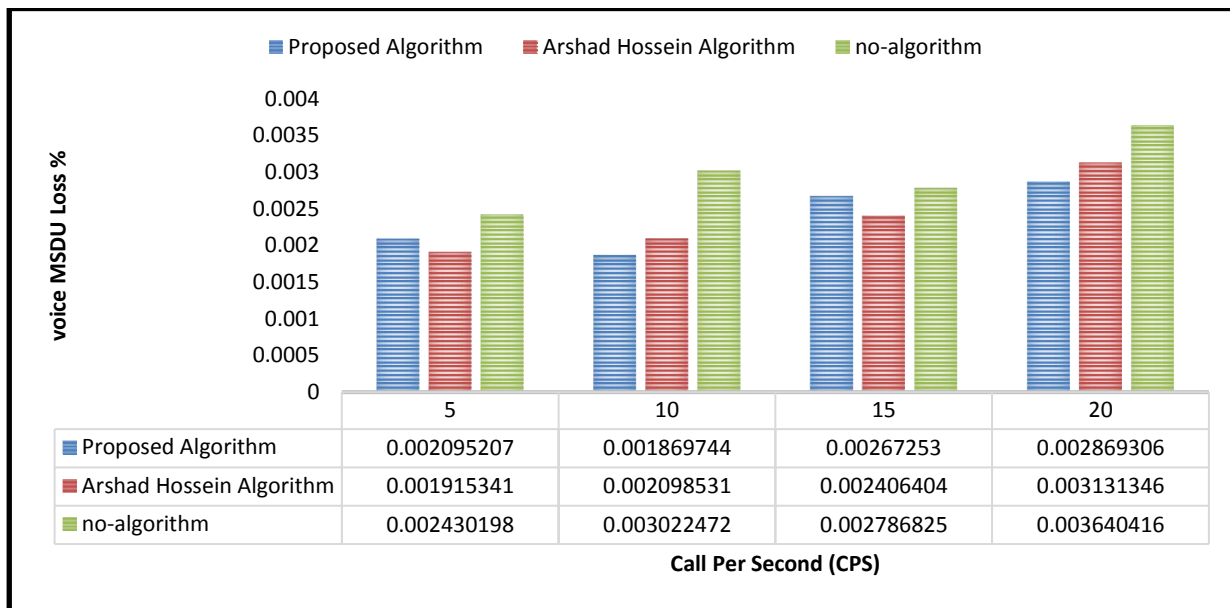
#### ۷- نتیجه‌گیری

با رشد تقاضا برای استفاده از تلفن‌های اینترنتی، کنترل پذیرش تماس با در نظر تضمین کیفیت سرویس، به چالشی اساسی در این حوزه تبدیل شده است. الگوریتم‌های ارائه‌شده‌ی پیشین به دلیل تغییر در پارامترهای لایه‌ی کنترل دسترسی و پیچیدگی زمانی بالای الگوریتم‌های مرتبط مؤثر نبوده‌اند. همچنین، ارزیابی این الگوریتم‌ها در نقطه‌ی دسترسی بوده و هیچ‌کدام از این الگوریتم‌ها، در کارگزار پیاده‌سازی نشده‌اند. در این مقاله، ما عملکرد یک الگوریتم کنترل پذیرش تماس را در کارگزار SIP با استفاده از استاندارد 802.11n در بستر واقعی، بررسی نمودیم. این طرح با ادغام پروتکل SIP و الگوریتم کنترل پذیرش تماس در کارگزار، بدون تغییر در پارامترهای استاندارد 802.11n، با پیچیدگی پایین و نیز با در نظر گرفتن پارامترهای کیفیت سرویس، در رابطه با پذیرش تماس جدید در کارگزار تصمیم‌گیری می‌کند. معیارهای مورد استفاده جهت پذیرش و یا رد تماس، نرخ اشغال کانال مشترک و درصد ترافیک بلادرنگ موجود در شبکه می‌باشد. نتایج ارزیابی بر روی یک بستر

درخواست INVITE را به کارگزار ارسال کرده تا هنگامی که پیام BYE را فرستاده و 200 ok را دریافت می‌کند. طول تماس شامل زمان پاسخ به تماس، تأخیر کانال در ارسال بسته‌ها، تأخیر کارگزار رسانه در ارسال رسانه و تأخیر کارگزار پروکسی در پردازش پیام‌های وارد شده می‌باشد. کاهش طول تماس بر کیفیت ترافیک ارسال بین دو کاربر در تلفن اینترنتی تأثیرگذار است. نمودار شکل (۱۴) بهبود میانگین طول تماس را در حالتی که از الگوریتم پیشنهادی استفاده می‌شود، در مقایسه با الگوریتم کنترل پذیرش تماس ارشد حسین همکاران و همچنین حالت عادی نشان می‌دهد.

#### ۶-۴ درصد اتلاف بسته‌های صوتی

در الگوریتم پیشنهادی به دلیل حذف بیشتر تماس‌ها در اثر شرایط ازدحام کانال، ترافیک موجود در کانال و همچنین بار روی کارگزار، بیشتر از الگوریتم ارشد حسین و همکاران کاهش یافته و بنابراین میانگین طول تماس‌ها را نیز بیشتر کاهش می‌دهد؛ در نتیجه، موجب کاهش تأخیر ارسال ترافیک، بین کاربر و کارگزار می‌گردد. در سایر CPS ها نیز کاهش میانگین طول تماس نسبت به الگوریتم ارشد حسین و همکاران و حالت عادی دیده می‌شود. روند افزایش طول تماس به ازای افزایش تعداد تماس‌ها در ثانیه در نمودار شکل (۱۴) قابل مشاهده است. با افزایش نرخ تماس‌ها، به دلیل ازدحام در کانال ارتباطی و پایین آمدن توان پردازشی کارگزار به دلیل برقراری تعداد نشست‌های بالاتر، میزان طول تماس نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین میانگین طول تماس با افزایش تعداد تماس در ثانیه، افزایش پیدا می‌کند. نمودار شکل (۱۵) درصد MSDU های صوتی را نشان می‌دهد که دچار ارسال مجدد شده‌اند. درصد اتلاف بسته‌های



شکل ۱۵: مقایسه‌ی درصد اتلاف MSDU های صوتی

[6] C. V. N. Index, "Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2010-2015," *White Paper, CISCO Systems Inc*, vol. 9, 2011.

[7] S. Saleh, Z. Shah, and A. Baig, "Improving QoS of IPTV and VoIP over IEEE 802.11 n," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 43, pp. 92-111, 2015.

[8] M. N. Ismail, "Analysis of Secure Real Time Transport Protocol on VoIP over Wireless LAN in Campus Environment," *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, vol. 2, no. 02, pp. 898-902, 2010.

[9] M. K. Ranganathan and L. Kilmartin, "Performance analysis of secure session initiation protocol based VoIP networks," *Computer Communications*, vol. 26, no. 6, pp. 552-565, 2003.

[10] K. Nisar, A. M. Said, and H. Hasbullah, "A Voice Priority Queue(VPQ) Fair Scheduler for the VoIP over WLANs," *International Journal on Computer Science and Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 506-518, 2011.

[11] L. Chaffin, *Building a VoIP Network with Nortel's Multimedia Communication Server 5100*. Syngress, 2006.

[12] J. Glasmann, W. Kellerer, and H. Muller, "Service architectures in H. 323 and SIP: A comparison," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 5, no. 2, 2003.

[13] I. Basicovic, M. Popovic, and D. Kukolj, "Comparison of SIP and H. 323 Protocols," in *Digital Telecommunications, 2008. ICDT'08. The Third International Conference on*, 2008: IEEE, pp. 162-167.

آزمون واقعی نشان داد که الگوریتم ارائه‌شده، موفق به کاهش تأخیر، کاهش اتلاف بسته‌های بلادرنگ و همچنین کاهش میانگین زمان پاسخ به تماس‌ها شده است.

#### مراجع

[1] S. A. A. Alshakhsi and H. Hasbullah, "Improving QoS of VoWLAN via cross-layer interaction approach," in *Information Technology (ITSim), 2010 International Symposium in*, 2010, vol. 2: IEEE, pp. 678-682.

[2] J.-J. Chen, L. Lee, and Y.-C. Tseng, "Integrating SIP and IEEE 802.11 e to support handoff and multi-grade QoS for VoIP-over-WLAN applications," *Computer Networks*, vol. 55, no. 8, pp. 1719-1734, 2011.

[3] L. Cai, Y. Xiao, and J. W. Mark, "VoIP over WLAN: Voice capacity, admission control, QoS, and MAC," *International Journal of Communication Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 491-508, 2006.

[4] P.-Y. Wu, J. Chen, Y.-C. Tseng, and H.-W. Lee, "Design of QoS and admission control for VoIP services over IEEE 802.11 e WLANs," *Journal of information science and engineering*, vol. 24, no. 4, pp. 1003-1022, 2008.

[5] M. H. Seyed Vahid Azhari, Hani Nemati, Javad Enayatizadeh, Ahmad Akbari, "Overload control in SIP networks using no explicit feedback: A window based approach," *Computer Communications*, vol. 35, no. 12, pp. 1472-1483, 2012.

- EDCA," in *Advanced Communication Technology, 2008. ICACT 2008. 10th International Conference on*, 2008, vol. 3: IEEE, pp. 1832-1835 .
- [26] P. Shete and R. Awale, "SmartCAC: Call admission control scheme to guarantee QoS for voice over IEEE 802.11 WLANs," *International Journal of Computer Applications*, vol. 42, no. 6, pp. 1-5, 2012.
- [27] A. Hussain, N. ul Hassan, and F. Nadeem, "Measurement Based Call Admission Control (CAC) to Improve QoS for IEEE 802.11 E WLAN," in *New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2014 6th International Conference on*, 2014: IEEE, pp. 1-4 .
- [28] N. Lalotra and D. Sharma, "Call Admission Control (CAC) with Load Balancing Approach for the WLAN Networks," 2016.
- [29] S. Baliga, K. Chudasama, and D. Ambawade, "Real-time performance evaluation and stability testing of RasPBX for VoWiFi," in *2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICADOT)*, 2016: IEEE, pp. 1089-1095 .
- [30] K. B. Z. ALI, FAOUZI; OBADAT, MOHAMMAD S.; KAMOUN, LOTFI, "Enhanced IEEE 802.21 Handover Design for QoS Support in Next Generation Wireless Networks.," vol. 34, no. 1-4, pp. 221-243, 2016. [Online]. Available:
- [31] L. A. H. N. Hakem, "A new mobile SIP proxy integration solution to increase scalability in 5G mobile operators," *IEEE 8th Annual Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference (UEMCON)*, 2018. [Online].
- [32] S. S. Y.-T. Kim, "QoS-Aware Adaptive A-MPDU Aggregation Scheduler for Voice Traffic in Aggregation-Enabled High Throughput WLANs," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 16, no. 10, pp. 2862 - 2875, 2017.
- [33] H. Zhai, X. Chen, and Y. Fang, "How well can the IEEE 802.11 wireless LAN support quality of service?," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 4, no. 6, pp. 3084-3094, 2005.
- [34] <http://sipp.sourceforge.net/doc/reference.html>..
- [35] M. Voznak and J. Rozhon, "SIP infrastructure performance testing," in *Proceedings of the 9th WSEAS international conference on Telecommunications and informatics*, 2010: World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), pp. 153-158 .
- [36] M. Voznak and J. Rozhon, "Approach to stress tests in SIP environment based on marginal analysis ", *Telecommunication Systems*, pp. 1-11, 2013.
- [37] <https://iperf.fr/iperf-doc.php>.
- [38] A. Tirumala, T. Dunigan, and L. Cottrell, "Measuring end-to-end bandwidth with Iperf using Web100," in *Presented at*, 2003, no. SLAC-PUB-9733 .
- [14] J. Glasmann, W. Kellerer, and H. Muller, "Service Development and Deployment in H. 323 and SIP," in *Computers and Communications, 2001. Proceedings. Sixth IEEE Symposium on*, 2001: IEEE, pp. 378-385 .
- [15] B. Goode, "Voice over internet protocol (VoIP)," *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, no. 9, pp. 1495-1517, 2002.
- [16] Y.-C. Jung, B.-K. Kim, and Y.-T. Kim, "Home/office intranet resource management for QoS-guaranteed realtime stream service provisioning on IEEE 802.11 e WLAN," in *Network Operations and Management Symposium, 2008. NOMS 2008 IEEE*, 2008: IEEE, pp. 959-962 .
- [17] J. Rosenberg *et al.*, "SIP: session initiation protocol," 2070-1721, 2002 .
- [18] E.-J. Yoon, K.-Y. Yoo, C. Kim, Y.-S. Hong, M. Jo, and H.-H. Chen, "A secure and efficient SIP authentication scheme for converged VoIP networks," *Computer Communications*, vol. 33, no. 14, pp. 1674-1681, 2010.
- [19] E. Charfi, L. C. Fourati, and L. Kamoun, "QoS support of voice/video services under IEEE 802.11 n WLANs," in *Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP) 2014 9th International Symposium on*, 2014: IEEE, pp. 600-605 .
- [۲۰] م. حامدیان، ب. شاهقلی قهفرخی، and ن. مقیم، "یک پروتکل MAC آگاه از کیفیت تجربه کاربر مبتنی بر استاندارد IEEE ۸۰۲.۱۱e، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، ۴۷vol. ۲، no. ۴۸۰-۴۶۹، ۲۰۱۷"
- [21] I. Tinnirello and S. Choi, "Temporal fairness provisioning in multi-rate contention-based 802.11 e WLANs," in *World of Wireless Mobile and Multimedia Networks, 2005. WoWMoM 2005. Sixth IEEE International Symposium on a*, 2005: IEEE, pp. 220-230 .
- [22] P. Teymoori, N. Yazdani, S. A. Hoseini, and M. R. Effatparvar, "Analyzing delay limits of high-speed wireless ad hoc networks based on IEEE 802.11 n," in *Telecommunications (IST), 2010 5th International Symposium on*, 2010: IEEE, pp. 489-495 .
- [23] S. Upadhyay, S. Singh, M. Gupta, and A. K. Nagawat, "Improvement in Performance of the VoIP over WLAN," *International Journal of Computer Applications (0975-8887)*, vol. 12, no. 4, pp. 12-15, 2010.
- [24] D. Pong and T. Moors, "Call admission control for IEEE 802.11 contention access mechanism," in *Global Telecommunications Conference, 2003. GLOBECOM'03. IEEE*, 2003, vol. 1: IEEE, pp. 174-178 .
- [25] S. Oh, J. Shin, D. Kwak, and C. Kim, "A novel call admission control scheme for the IEEE 802.11 e

*Workshop and Conference (CCWC)*, 2017: IEEE, pp. 1-6 .

[39] "<https://freeswitch.com/>."

[40] L. A. Haibeh, N. Hakem, and O. A. Safia, "Performance evaluation of VoIP calls over MANET for different voice codecs," in *2017 IEEE 7th Annual Computing and Communication*

زیر نویس ها:

---

<sup>8</sup> Asterisk

<sup>9</sup> Full duplex

<sup>10</sup> Half duplex

<sup>11</sup> Channel busyness ratio

<sup>12</sup> Channel utilization ratio

<sup>13</sup> Open source

<sup>1</sup> Voice Over Internet Protocol

<sup>2</sup> Session

<sup>3</sup> Internet Engineering Task Force

<sup>4</sup> Uniform Resource Identifier

<sup>5</sup> Multi Input Multi Output

<sup>6</sup> Aggregate MAC Protocol Data Unit

<sup>7</sup> Aggregate MAC Service Unit