

یک پروتکل MAC آگاه از کیفیت تجربه کاربر مبتنی بر استاندارد IEEE 802.11e

محمد حامدیان^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد؛ بهروز شاهقلی قهفرخی^۲، استادیار؛ ندا مقیم^۳، استادیار

۱- دانشکده مهندسی کامپیوتر - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران - hamedian220@gmail.com

۲- دانشکده مهندسی کامپیوتر - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران - shahgholi@eng.ui.ac.ir

۳- دانشکده مهندسی کامپیوتر - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران - n.moghim@eng.ui.ac.ir

چکیده: با توسعه استاندارد IEEE 802.11 که منجر به تبیین استاندارد IEEE 802.11e گردید؛ قابلیت تأمین کیفیت خدمات در شبکه‌های بی‌سیم میسر شد؛ اما این استاندارد دارای اشکالات عمده‌ای از قبیل عدم توجه به کیفیت تجربه کاربر (QoE) در ترافیک بلادرنگ است که باعث شده تا از منابع رادیویی موجود به صورت بهینه استفاده نگردد. یکسان بودن پنجره رقابت و حداکثر فرصت ارسال فریم برای تمام کاربران یک کلاس سرویس به معنی عدم توجه به آستانه رضایت کاربران از منابع تخصیص یافته است که می‌تواند باعث کاهش بهره‌وری منابع شود؛ چراکه رضایت برخی کاربران با تخصیص منابع کمتر هم برآورده می‌شود. هدف این مقاله ارائه مکانیسمی برای آگاه کردن IEEE 802.11e از کیفیت تجربه کاربر و در نتیجه تخصیص متناسب منابع از طریق تنظیم آستانه‌های پنجره رقابت و حداکثر فرصت ارسال فریم است. در این مقاله از الگوریتم یادگیری تقویتی چندعامله WoLF-PHC به منظور تنظیم بهینه آستانه پنجره رقابت و حداکثر فرصت ارسال فریم بر اساس بازخورد QoE کاربران استفاده شده است که از تخمین تعداد گره‌های فعال همسایه برای تشخیص وضعیت فعلی شبکه، بهره می‌برد. بررسی و مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاکی از افزایش تعداد کاربران راضی از شبکه در مقایسه با روش استاندارد و روش پیشین می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کنترل دسترسی به رسانه، پنجره رقابت، فرصت ارسال، کیفیت تجربه کاربر، IEEE 802.11e.

A QoE-Aware MAC Protocol Based on IEEE802.11e

M. Hamedian¹, MSc Student; B. Shahgholi Ghahfarokhi², Assistant Professor; N. Moghim³, Assistant Professor

1- Faculty of Computer Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran, Email: hamedian220@gmail.com

2- Faculty of Computer Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran, Email: shahgholi@eng.ui.ac.ir

3- Faculty of Computer Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran, Email: n.moghim@eng.ui.ac.ir

Abstract: IEEE 802.11e standard that is an extension to IEEE 802.11 leads to Quality of Service (QoS) support in wireless networks. However, this standard does not take Quality of Experience (QoE) in to account for real-time traffic. QoE is used to provide an optimal use of available radio resources in the network, because the satisfaction of some users can be met by the allocation of less resource. Same Contention Window (CW) and Transmission Opportunity (TXOP) for all the users in a service class means paying no attention to the user's satisfaction and this can waste network resources. This research proposes a mechanism to consider user's QoE in the resource allocation process of the IEEE 802.11e protocol. This is done by setting the amount of CW and TXOP with the help of the users' feedback of their level of received service satisfaction. WoLF-PHC Multi-agent reinforcement learning algorithm is used to optimally set the contention window and TXOP, based on the users' QoE feedback. Simulations results show that the proposed method improves the satisfaction level of the increasing number of network users compared to the standard methods.

Keywords: Medium access control, contention window, transmission opportunity, quality of experience, IEEE 802.11e.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۰۷

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۴

نام نویسنده مسئول: بهروز شاهقلی قهفرخی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - اصفهان - خیابان هزارگریب - دانشگاه اصفهان - دانشکده مهندسی کامپیوتر.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با گسترش جمعیت استفاده‌کنندگان از شبکه‌های بی‌سیم، سرویس‌دهندگان تلاش زیادی برای بهبود خدمات انجام داده‌اند. در این سال‌ها مطالعات زیادی برای بهبود پارامترهای QoS در شبکه‌های بی‌سیم انجام شده است. کمیته IEEE از طریق استاندارد 802.11e تلاش کرده تا قابلیت تضمین QoS را در شبکه بی‌سیم محلی ارائه کند. در این استاندارد چهار دسته ترافیک بهترین تلاش، پس‌زمینه، ویدئو و صدا تعریف و از هم تفکیک شده است.

کیفیت خدمات و راهکارهای بهبود آن تا به امروز از مباحث مهم در شبکه‌های بی‌سیم بوده است؛ اما تحقیقات اخیر [۱، ۲]، معیار کیفیت تجربه کاربر (QoE) را نیز برای ارزیابی عملکرد یک ارتباط و همچنین به‌عنوان پارامتر مهمی برای بهبود عملکرد شبکه به‌کار برده‌اند. به دلیل اینکه نیاز کاربران به میزان کیفیت خدمات متفاوت است، بهتر است منابع شبکه متناسب با نیاز آن‌ها تقسیم گردد و از این طریق تعداد کاربران ناراضی از خدمات دریافتی کاهش داده شود که این امر در واقع منجر به افزایش بهره‌وری می‌شود. میزان رضایت کاربر با توجه به سطح کیفیت دریافتی کاربر اندازه‌گیری می‌شود و اگر از آستانه مشخصی بیش‌تر باشد، آن کاربر راضی تلقی می‌گردد.

در این مقاله، استفاده از کیفیت دریافت کاربر به‌منظور تنظیم هوشمند پنجره رقابت (CW) و حداکثر فرصت ارسال فریم (TXOP) در پروتکل EDCA و برای ترافیک ویدئو مورد توجه قرار گرفته است. پروتکل EDCA برای پشتیبانی از کیفیت خدمات اولویت‌بندی شده بر اساس رقابت طراحی شده است و این اطمینان را ایجاد می‌کند تا بسته‌های ترافیک با اولویت بالاتر زودتر ارسال گردند [۳]. اما این کار برای کلیه جریان‌های یک کلاس خدمات (مانند ویدئو)، یکسان است و تفاوت آستانه کسب رضایت کاربران از خدمات، در نظر گرفته نمی‌شود. در این مقاله روشی مبتنی بر یادگیری تقویتی چندعاملی برای تنظیم هوشمندانه آستانه‌های CW و حداکثر فرصت ارسال فریم (TXOP) ارائه می‌گردد که این کار را برای هر جریان ترافیک ویدئو و بر اساس بازخورد QoE کاربر تنظیم می‌نماید.

در ادامه این بخش، نحوه عملکرد EDCA مورد بررسی قرار خواهد گرفت و همچنین روش‌های ارزیابی QoE مرور می‌شود. بخش ۲ به بررسی برخی کارهای انجام‌شده در زمینه تنظیم پنجره رقابت و حداکثر فرصت ارسال فریم می‌پردازد. روش پیشنهادی در بخش ۳ تشریح شده است و نتایج شبیه‌سازی در بخش ۴ نمایش داده شده است. سرانجام در بخش ۵ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی مقاله ارائه می‌گردد.

۱-۱- مروری بر EDCA

یکی از روش‌های دسترسی به کانال در 802.11e، مکانیسم مبتنی بر رقابت EDCA است. در EDCA چهار رده دسترسی (AC) تعریف می‌شود، به طوری که هر رده دسترسی دارای اولویت متفاوتی نسبت به

دیگری برای دسترسی به کانال است. برای هر AC با توجه به سطح اولویت آن، چهار مقدار AIFS^۱، CW_{min}^۲، CW_{max}^۳ و TXOP_{limit} تنظیم می‌شود که CWها آستانه‌های پایین و بالای پنجره رقابت است، TXOP_{limit} حداکثر تعداد فریم‌هایی را مشخص می‌کند که بدون رقابت برای دسترسی به کانال، می‌تواند ارسال شوند و AIFS میزان انتظار اولیه برای در دست گرفتن کانال خالی می‌باشد.

در مکانیسم EDCA، قبل از شروع به ارسال، هر ایستگاه با توجه به رده دسترسی (i) باید مطمئن شود که کانال به مدت AIFS_i خالی است. سپس ایستگاه با استفاده از یک تایمر عقب‌گرد که مقدار آن به صورت یکنواخت از [0, CW_{ij}] انتخاب می‌شود، یک رویه عقب‌گرد را انجام می‌دهد که در آن CW_{ij} اندازه پنجره رقابت کنونی (مرحله j/m) برای رده i است. انتخاب این متغیر تصادفی یک توزیع یکنواخت دارد و بنابراین متوسط این مقدار برابر نصف CW_{ij} می‌باشد.

اگر در یک اسلات عقب‌گرد مشخص شود که کانال خالی است، یکی از مقدار تایمر عقب‌گرد کاسته می‌شود. در غیر این صورت تایمر معلق می‌ماند تا کانال خالی شود. وقتی تایمر عقب‌گرد به صفر می‌رسد، ایستگاه داده خود را ارسال می‌کند. اگر گیرنده بسته داده را با موفقیت دریافت کرد، با ارسال ACK فرستنده را مطلع می‌سازد. این در حالی است که دریافت نکردن ACK ای توسط فرستنده به معنای برخورد می‌باشد؛ لذا در صورت ارسال موفق، اندازه پنجره رقابت به CW_{i,min} کاهش می‌یابد و اگر برخورد رخ داد در صورت کوچک‌تر بودن دو برابر پنجره رقابت کنونی از CW_{i,max}، اندازه پنجره رقابت دو برابر شده و دوباره رویه عقب‌گرد اجرا می‌شود. این فرآیند ادامه می‌یابد تا داده به درستی ارسال شود یا به تعداد α مرتبه انتقال مجدد صورت گیرد که با توجه به استاندارد، این مقدار برابر ۷ می‌باشد [۴]. در صورت عدم ارسال موفق، در این مرحله داده از بین می‌رود.

۱-۲- کیفیت تجربه کاربر و ارزیابی آن

رقابت روزافزون فراهم‌کنندگان خدمات برای جذب مشتری و تنوع شبکه‌ها موجب شده است که علاوه بر QoS، کیفیت تجربه کاربر نیز مورد توجه قرار گیرد. QoE^۴ یا کیفیت تجربه کاربر از دیدگاه استاندارد ITU-T P.10/G.100 [۵]، میزان قابل قبول بودن خدمات است که توسط کاربر نهایی درک می‌شود و به صورت مستقیم با احساسات و درک کاربر سر و کار دارد. عوامل مؤثر بر QoE، به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- عوامل فردی^۵: نظیر احساسات، انتظار و تجربه‌های قبلی کاربر
- ۲- عوامل فنی: نظیر سطح کیفیت خدمات شبکه، مشخصات ترمینال و نیازهای برنامه کاربردی

ارزیابی کیفیت دریافت کاربر به دو صورت فردی و عینی^۶ است. اگرچه ارزیابی به روش فردی به واقعیت نزدیک‌تر است، اما پیچیدگی این روش و هزینه درگیر کردن کاربران باعث شده است تا از روش

۲- پیشینه

۲-۱- مکانیسم‌های تنظیم هوشمند پنجره رقابتی

در گذشته تلاش‌های زیادی در جهت بهبود QoS به کمک انطباق پنجره رقابتی و حداکثر فرصت ارسال فریم در EDCA ارائه شده است. در مرجع [۹] مکانیسمی برای تنظیم پنجره رقابتی پیشنهاد شده که هدف آن ایجاد عدالت بین جریان بالاسو و پایین‌سو در TCP و ترافیک مبتنی بر کلاس سرویس بهترین تلاش می‌باشد. عدالت در این روش با استفاده از تغییر دو پارامتر حداقل و حداکثر پنجره رقابتی با در نظر گرفتن تعداد جریان‌های ترافیکی پایین‌سو و نرخ کل بسته‌ها صورت می‌پذیرد. در این روش ابتدا پهنای باند مورد نیاز ترافیک بلادرنگ، فراهم شده و سپس پهنای باند باقی‌مانده به صورت عادلانه بین جریان بالاسو و پایین‌سو در ترافیک بهترین تلاش تقسیم شده است. معیار رضایت کاربران در این راهکار نقشی ندارد.

در [۱۰] مکانیسمی برای بالا بردن کارایی روش EDCA در شبکه‌هایی که دارای ترافیک بلادرنگ مانند ویدئو هستند، ارائه شده است. مقادیر پیش‌فرض پنجره رقابتی، برای سطوح مختلف سرویس، متفاوت در نظر گرفته شده است. بنابراین تحت روش EDCA، ترافیک بلادرنگ شانس و فرصت بیشتری نسبت به ترافیک غیربلادرنگ برای دسترسی به رسانه بی‌سیم دارد. علاوه بر این، در این روش متغیری تعریف شده است که بر اساس طول صف هر گره عمل می‌کند و سعی می‌کند رقابت را بر اساس نیاز تنظیم نماید. اما در تنظیم سطوح پنجره، کیفیت تجربه کاربر و محتوای ترافیک، لحاظ نمی‌گردد و پنجره برای همه ارتباطات یک کلاس سرویس یکسان است که این امر، بهره‌وری کافی به دنبال نخواهد داشت.

در [۱۱] سعی شده با تنظیم پنجره رقابتی، تصادم در ترافیک بلادرنگ کاهش پیدا کند. این روش بر روی تعداد بالای جریان بلادرنگ تمرکز دارد و به این نتیجه رسیده است که با زیاد شدن تعداد جریان یک نوع ترافیک، مقدار آستانه پنجره رقابتی، کارایی لازم را ندارد. ویژگی اصلی این روش، انعطاف‌پذیری و انطباق مناسب با تمام دسته‌های ترافیکی می‌باشد. معیار اصلی این روش برای تنظیم پنجره رقابتی، نیز طول صف می‌باشد، اما به صورت مشابه به کیفیت تجربه کاربر توجهی نشده است.

مرجع [۱۲] تنظیم پویای پنجره رقابتی از طریق گرفتن بازخورد ایستگاه‌ها توسط AP را انجام داده است. در این روش یک جدول برای هر ایستگاه در نظر گرفته شده است و قبل از ارسال فریم نشانه، عملیات محاسبه و تنظیم پنجره رقابت صورت می‌پذیرد. ویژگی مناسب این روش، انطباق پنجره رقابتی با توجه به تأخیر مورد نیاز هر گره است؛ اما در این روش نیز به کیفیت تجربه کاربر توجهی نشده است.

ارزیابی عینی استفاده شود که دارای معیارهای متعددی می‌باشد که عمدتاً برای تخمین کیفیت دریافت صدا و ویدئو معرفی شده‌اند. مثلاً استاندارد G.701 و مدل GAP به ترتیب برای ارزیابی کیفیت سیگنال‌های صدا و ویدئو در شبکه استفاده می‌شود [۶، ۷]. استانداردهای جدیدی چون J.246 و J.247 نیز برای ارزیابی عینی توسط مؤسسه ITU-T ارائه شده است. یکی از معیارهای پایه برای ارزیابی کیفیت ترافیک ویدئو، معیار PSNR^y است و محاسبه آن نیاز به ویدئوی اصلی دارد (مناسب کارهای آزمایشگاهی). معیار PSNR نسبت بیش‌ترین مقدار انرژی سیگنال به نویز را در یک فریم ویدئو محاسبه می‌کند.

MOS معیار ارزیابی فردی است که از امتیازدهی مستقیم کاربران به یک سرویس، به دست می‌آید. برای تعیین MOS، تعدادی بیننده/شنونده کیفیت محتوای چندرسانه‌ای را پس از عبور از سیستم ارتباطی، امتیازدهی می‌کنند که میانگین حسابی امتیاز ارائه‌شده توسط این افراد با عددی بین ۱ (بدترین کیفیت) تا ۵ (بهترین کیفیت) بیان می‌شود. در مرجع [۸] چگونگی نگاشت مقدار PSNR به MOS^a نشان داده شده است. این نگاشت در روش پیشنهادی این مقاله نیز مورد توجه قرار گرفته و محدوده PSNR قابل قبول بر این اساس در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۱ این نگاشت نمایش داده شده است.

جدول ۱: نگاشت مقدار PSNR به MOS [۸]

PSNR(dB)	MOS
بالای ۳۷	۵ (عالی)
بین ۳۱ تا ۳۷	۴ (خوب)
بین ۲۵ تا ۳۱	۳ (متوسط)
بین ۲۰ تا ۲۵	۲ (ضعیف)
زیر ۲۰	۱ (بد)

کاربران مختلف به یک سطح از کیفیت خدمات نیاز ندارند و حتی برخی دستگاه‌های سیار نیز امکان بهره بردن از کیفیت خدمات بالا را ندارند (به دلیل محدودیت‌های پردازش و پخش) و توجه به این مسئله می‌تواند بهره‌وری از منابع شبکه را افزایش دهد. از این رو، لازم است سطح کیفیت خدمات به صورت انعطاف‌پذیر و بر اساس میزان رضایت کاربر ارائه گردد. از طرفی هرچه در لایه‌های شبکه به سمت پایین حرکت کنیم، تأثیر تنظیمات آن‌ها، در کیفیت دریافت کاربران بیش‌تر خواهد بود. به همین دلیل می‌توان با آگاه شدن از سطح کیفیت تجربه کاربر از خدمات چندرسانه‌ای دریافتی و دخالت آن در تنظیم بهتر پارامترهای 802.11e، رضایت کاربران بیش‌تری را تأمین کرد.

با نگاهی گذرا در مورد عملکرد کیفیت تجربه کاربر، در بخش بعدی به بررسی کارهای صورت‌گرفته مربوط به تنظیم آستانه‌های پنجره رقابت و حداکثر فرصت ارسال فریم می‌پردازیم.

در [۱۸] تنظیم فرصت ارسال بر اساس نظریه بازی‌ها و به‌صورت همکارانه مدل شده که با در نظر گرفتن تعداد فریم‌ها در صف و تعداد گره‌ها در AC، هر گره به‌صورت خودمختار حداکثر فرصت ارسال خود را تنظیم می‌نماید. این روش علاوه بر بهبود سطح کیفیت سرویس کاربران، باعث بالا رفتن کارایی شبکه و کم کردن تأخیر بسته‌ها گردیده است.

در [۱۹] اولویت‌دهی به ترافیک به‌صورت پویا و در شبکه‌های چندگامی در نظر گرفته شده است. ایده‌های قبلی مطرح در شبکه‌های چندگامی، وضعیت شبکه و برخوردهای ناشی از ترافیک رگباری را در نظر نمی‌گرفتند. اما این الگوریتم اولویت‌دهی به جریان ترافیکی را بر اساس وضعیت شبکه و نیازمندی‌های تأخیر، لحاظ کرده تا کیفیت سرویس ابتدا به انتها را برآورده نماید. در این تحقیق، ابتدا با بررسی حالت گره‌ها، تأخیر هر گره متناسب با کلاس مورد نظر محاسبه می‌شود. لذا دسته‌بندی ترافیک بسته‌ها بر اساس تأخیر در هر کلاس سرویس صورت می‌گیرد. سپس تخصیص متغیر فرصت ارسال برای انواع ترافیک، بر اساس تخمین شرایط کانال، از روی میزان ارسال‌های موفق و سپس مقایسه آن با یک حد آستانه که به‌صورت تجربی به دست آمده، صورت می‌گیرد.

در [۲۰، ۲۱] مصالحه بین عدالت و کارایی سیستم مطرح شده و با تنظیم فرصت ارسال، سعی در بهبود عدالت شده است. به دلیل اینکه در شبکه محلی بی‌سیم، ارسال چندنرخ‌ی مطرح است و گره‌ها با نرخ‌های متغیر اقدام به ارسال می‌نمایند؛ در صورت استفاده از فرصت ارسال برابر برای گره‌ها، بی‌عدالتی در شبکه ایجاد می‌شود. بنابراین نیاز است که ایستگاه‌های با نرخ ارسال فیزیکی بالاتر، فرصت ارسال کم‌تری نسبت به ایستگاه‌های با نرخ ارسال کم‌تر داشته باشند. در [۲۲] نیز الگوریتمی برای تنظیم حداکثر فرصت ارسال به‌صورت پویا ارائه گردیده است که هدف آن استفاده بهتر از منابع کانال و زمان‌بندی مناسب بر اساس نیاز ایستگاه‌ها می‌باشد. در کلیه طرح‌های فوق نیز به معیار کیفیت تجربه کاربر و سطح رضایت وی توجهی نشده است و به نظر می‌رسد در زمینه تنظیم فرصت ارسال، پژوهشی که QoS را لحاظ کند، صورت نگرفته است.

در جدول ۲ خلاصه‌ای از راه‌حل‌های پیشین نمایش داده شده است. همان‌طور که از جدول ۲ نیز مشهود است، کیفیت تجربه کاربر در اکثر تحقیقات مورد توجه نبوده است و در موارد معدود نیز، صرفاً تنظیم پنجره رقابت مورد نظر بوده است. توجه به این امر در کنار وضعیت پویای شبکه برای تنظیم پارامترهای ارسال می‌تواند علاوه بر تأمین رضایت کاربران، به بهره‌وری بالاتر از شبکه بیانجامد. در ادامه، روش پیشنهادی این مقاله، ارائه شده است.

در [۱۳] مدلی طراحی شده که در آن میزان رضایت کاربر برحسب MOS ارزیابی می‌شود و با میزان MOS تخمین‌زده‌شده توسط مدل مربوطه، مقایسه می‌شود. اگر میزان رضایت کاربر از میزان تعیین‌شده بزرگ‌تر بود، مقدار پنجره رقابتی قبلی حفظ می‌شود و در غیر این‌صورت پنجره رقابتی تغییر می‌کند و این فرآیند به‌صورت پویا ادامه می‌یابد. در نظر گرفتن تأثیر میزان رضایت کاربر برای تنظیم پنجره رقابتی یکی از نقاط مثبت این تحقیق است، اما این روش از هوشمندی کافی و انعطاف‌پذیری قابل توجهی بر اساس شرایط شبکه برخوردار نیست.

در [۱۴] مکانیسمی برای آگاه کردن IEEE 802.11e از کیفیت تجربه کاربر و تنظیم آستانه پنجره رقابت بر اساس آن، ارائه شده است. در این روش از اتوماتای یادگیر به‌منظور تنظیم بهینه آستانه پنجره رقابت بر اساس بازخورد کیفیت تجربه کاربر استفاده شده است. اما این روش به دلیل عدم توجه به وضعیت بار شبکه، نمی‌تواند رفتار مناسبی را در شرایط مختلفی از شلوغی شبکه داشته باشد.

در [۱۵] روشی برای بهبود تأخیر و گذردهی در استاندارد IEEE 802.11e ارائه شده است. در این روش با استفاده از احتمال برخوردها و تعداد ایستگاه‌ها، تنظیم حداقل و حداکثر پنجره رقابتی انجام شده است. اما عدم تنظیم پنجره بر اساس نیاز کاربر و کاربرد (مستقل از کلاس سرویس)، باعث می‌شود تا بهره‌وری کافی از منابع رادیویی حاصل نگردد.

۲-۲- مکانیسم‌های تنظیم حداکثر فرصت ارسال

در [۱۶] الگوریتمی توزیع‌شده برای تنظیم حداکثر فرصت ارسال به‌منظور بالا بردن گذردهی کاربران طراحی شده است. در این تحقیق هر گره تنظیمات را با اندازه‌گیری مستقل گذردهی و مقایسه آن با مقدار مطلوب کاربر انجام می‌دهد. در این روش اگر گذردهی اندازه‌گیری‌شده، بزرگ‌تر از سطح مطلوب آن گره باشد، گره فرصت ارسال خود را کاهش داده و در غیر این‌صورت فرصت ارسال خود را افزایش داده تا به حداکثر مدت‌زمان برای ارسال برسد. بنابراین توسط این روش می‌توان به گذردهی سطح سرویس مورد نیاز کاربر در یک حالت پایدار سراسری دست یافت. اما گذردهی، تنها معیار رضایت کاربر از سرویس محسوب نمی‌شود.

مرجع [۱۷] با در نظر گرفتن AP در فاز رقابتی و جریان‌های پایین‌سو، با تخصیص پویای فرصت ارسال، عدالت در تخصیص منابع بین جریان‌های بالاسو و پایین‌سو را افزایش داده است. عدالت از طریق محاسبه متوسط اندازه فریم‌های ارسالی و تخمین ظرفیت موجود کانال صورت می‌گیرد. ویژگی مناسب این طرح آن است که در شرایط بار و ترافیک بالا در شبکه، با استفاده از الگوریتم‌های کنترل پذیرش، میزان ترافیک ورودی به شبکه را کنترل می‌کند. اما رضایت کاربر و نیازمندی‌های کاربرد در این طرح مورد توجه نبوده است.

۳- راهکار پیشنهادی

کاربران مختلف با توجه به خصوصیات و شرایط مکانی و زمانی، به یک میزان از کیفیت در ارائه خدمات چندرسانه‌ای نیاز ندارند و حتی برخی از دستگاه‌های سیار نیز امکان بهره بردن از سطح کیفیت خدمات بالا را ندارند. از این رو لازم است سطح کیفیت خدمات به صورت انعطاف‌پذیر و بر اساس آستانه رضایت کاربران ارائه گردد. از طرفی هرچه در لایه‌های شبکه به سمت پایین حرکت کنیم، تأثیر تنظیمات آن در کیفیت دریافت کاربر بیش‌تر خواهد شد. به همین دلیل در روش پیشنهادی با آگاه ساختن لایه MAC از کیفیت دریافت کاربر، سعی می‌شود رضایت کاربران بیش‌تری تأمین گردد.

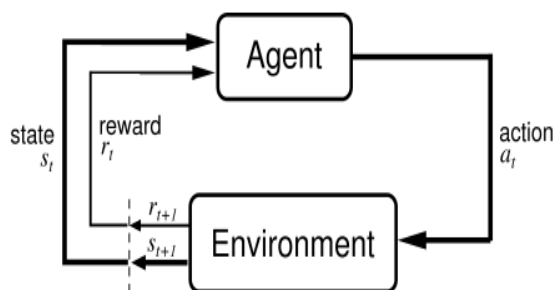
در این مقاله روشی برای تنظیم هوشمند آستانه‌های پنجره رقابتی (CW_{max}, CW_{min}) و حداکثر فرصت ارسال فریم (TXOP) برای ترافیک ویدئو، ارائه شده است. در روش پیشنهادی، از تخمین تعداد ایستگاه‌های همسایه برای تشخیص وضعیت بار استفاده شده و به کمک یادگیری تقویتی چندعاملی WoLF-PHC^۹ سعی می‌شود آستانه‌های مذکور و حداکثر فرصت ارسال فریم، متناسب با شرایط شبکه تنظیم شود.

۳-۱- یادگیری تقویتی

در شکل ۱ مدل کلی از فرآیند یادگیری تقویتی ارائه شده است. در این مدل در لحظه t عامل، عمل a_t را انجام می‌دهد و در مقابل این عمل، محیط عامل را از حالت S_t به حالت S_{t+1} می‌برد و یک پاداش لحظه‌ای r_t به آن می‌دهد. در واقع این مقدار پاداش به نوعی عامل را در راستای پیدا کردن سیاست بهینه تقویت می‌کند و به همین دلیل است که این روش، یادگیری تقویتی نامیده می‌شود.

ساده‌ترین و پرکاربردترین روش یادگیری موقتی، روش یادگیری Q است. این روش از تجربه به‌دست‌آمده از هر گذر حالت در محیط، استفاده کرده و مقادیر مربوط به هر حالت را در یک جدول به نام جدول Q به‌روز می‌کند. این جدول برای هر زوج حالت و عمل (S, a) ، یک مقدار $Q(S, a)$ دارد و به‌ازای هر گذر حالت از S_t به S_{t+1} و دریافت پاداش r_{t+1} مقادیر Q را طبق رابطه (۱) به‌روز می‌کند.

$$Q_{t+1}(S, a) = (1 - \beta)Q_t(S, a) + \beta(r_t + \gamma \max_{a'} Q_t(S', a')) \quad (1)$$



شکل ۱: محاوره محیط با عامل در یادگیری تقویتی [۲۱]

جدول ۲: مقایسه برخی راهکارهای تنظیم پنجره رقابتی و فرصت

ارسال در 802.11

ردیف	هدف	رقبته پنجره ارسال	تنظیم فرصت ارسال	توجه به QoS
۲۰۰۹ [۹]	عدالت بین جریان بالاسو و پایین‌سو	×		
۲۰۰۵ [۱۰]	بالا بردن کارایی در ترافیک بلادرنگ	×		
۲۰۰۵ [۱۱]	کاهش تصادم در ترافیک بلادرنگ	×		
۲۰۰۸ [۱۲]	کاهش تأخیر رقابت	×		
۲۰۱۱ [۱۳]	افزایش رضایت کاربران	×	×	
۲۰۱۴ [۱۴]	افزایش رضایت کاربران	×	×	
۲۰۱۵ [۱۵]	بهبود تأخیر و گزردهی	×		
۲۰۱۱ [۱۶]	بالا بردن توان عملیاتی		×	
۲۰۱۲ [۱۷]	افزایش عدالت در تخصیص منابع به جریان‌های بالاسو و پایین‌سو	×		
۲۰۱۳ [۱۸]	افزایش کارایی شبکه و کاهش تأخیر رگباری بسته‌ها	×		
۲۰۰۸ [۱۹]	اولویت‌دهی به جریان‌های ترافیکی و تخصیص پویای فرصت ارسال	×		
۲۰۱۱ [۲۰]	کاهش تأخیر برای جلوگیری از قحطی	×		
۲۰۱۵ [۲۲]	استفاده بهتر از کانال و بهره‌وری منابع	×		

همگرا و به تعادل نش می‌رسند. در واقع نقطه تعادل، نقطه‌ای است که تمامی بازیکنان از بازی راضی هستند و هیچ بازیکنی با تغییر استراتژی خود سود بیش‌تری به دست نمی‌آورد [۲۴].

الگوریتم WoLF-PHC که در این تحقیق استفاده شده، علاوه بر ماتریس Q ، از ماتریس Policy که با نماد π نمایش داده شده است برای نگهداری احتمال انتخاب هر عمل بر اساس حالت جاری استفاده می‌کند. ماتریس Policy، بر اساس رابطه (۲) به‌روزرسانی می‌شود. ثابت δ نرخ یادگیری است که بازه مقادیر آن $(0,1]$ است و $|A_i|$ بیانگر تعداد اعمال ممکن برای عامل i ام می‌باشد. در این رابطه، احتمال انتخاب عمل a در حالت S بر اساس نرخ یادگیرنده به‌روزرسانی می‌شود. اگر بعد از اجرای عمل a مقدار $Q(S,a)$ دارای بیشینه مقدار بین اجزای سطر حالت (S) از ماتریس Q باشد، شانس احتمال انتخاب آن عمل در آینده افزایش پیدا خواهد کرد. بدین‌صورت عامل‌ها به‌صورت مستقل و حریصانه شانس خود را برای پاداش تجمعی بهتر افزایش می‌دهند. بر اساس رابطه (۳) در اینجا نرخ یادگیرنده متفاوت برای δ استفاده می‌شود که عبارت‌اند از δ_w و δ_l که اولی مربوط به شرایط باخت و دومی مربوط به شرایط برد است. تعیین وضعیت برد و باخت بر اساس ماتریس متوسط Policy (π') و به کمک رابطه (۴) تعیین می‌شود که $C(S)$ شمارنده مربوط به تعداد تکرارها برای تازه‌سازی متوسط Policy است. با توجه به اینکه نرخ یادگیری تأثیر به‌سزایی در همگرا شدن یا همگرا نشدن یادگیرنده دارد، این شیوه سبب می‌شود که تغییر احتمالات یادگیرنده در شرایط برد، به‌صورت محافظه‌کارانه و متناسب با مدت یادگیری بهبود یابد و شانس همگرا شدن افزایش داده شود.

$$\pi(S,a) = \pi(S,a) + \begin{cases} -\min\left(\pi(S,a), \frac{\delta}{|A_i|-1}\right) & \text{If } a \neq \arg_a \max(Q(S,a)) \\ \sum_{d \neq a} \min\left(\pi(S,a), \frac{\delta}{|A_i|-1}\right) & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\delta = \begin{cases} \delta_w & \text{If } \sum_{a'} \pi(S,a')Q(S,a') > \sum_{a'} \pi'(S,a')Q(S,a') \\ \delta_l & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$\pi'(S,a) = \pi(S,a) + \frac{1}{C(S)}(\pi(S,a') - \pi'(S,a')) \quad (4)$$

۳-۳- الگوریتم پیشنهادی

در این تحقیق از الگوریتم WoLF-PHC برای یادگیری متغیرهای ارسال، در هر گره، استفاده شده و برای محاسبه بازخورد هر عملیات از رابطه (۵) استفاده می‌شود.

β یک ثابت کوچک است که نرخ یادگیری نامیده می‌شود، r پاداش اعطایی بعد از اجرای عمل a است که از رابطه (۱) به‌روزرسانی می‌شود، S' حالت جدید بعد از اجرای عمل a و γ فاکتور تخفیف است که بین صفر و یک می‌باشد و نشان‌دهنده اهمیت پاداش‌های آینده است. مقدار صفر باعث می‌شود عامل، ماهیت فرصت‌طلبانه گرفته و فقط پاداش‌های فعلی را مد نظر قرار دهد. در حالی که مقدار یک، عامل را ترغیب می‌کند برای یک دوره زمانی طولانی برای پاداش تلاش کند. در این الگوریتم، عامل موقعی که عمل a را در حالت S انتخاب می‌کند و به حالت S' می‌رود، برای به‌روز کردن مقدار Q خود در آن لحظه یعنی $Q_t(S,a)$ ، از ماکزیمم مقدار Q حالت بعدی، یعنی $\max_a Q(S',a)$ نیز استفاده می‌کند. همچنین نرخ یادگیرنده برای به‌روزرسانی مقدار جدید $Q_{t+1}(S,a)$ تخمین‌زده شده و به‌صورت مستقیم جایگزین می‌شود. در این الگوریتم اگر هر عمل a در هر حالت، در تعداد کافی اجرای برنامه انتخاب شود و پارامتر β به‌خوبی تنظیم شود، مقادیر Q به احتمال بسیار زیاد به مقادیر بهینه یعنی Q^* همگرا خواهند شد [۲۱].

۳-۲- یادگیری تقویتی چندعامله WoLF-PHC

مسئله مهمی که در اینجا مطرح می‌شود این است که الگوریتم یادگیری Q ، مختص محیط‌های تک عاملی است، در حالی که محیط مسئله پیش‌رو، محیط چندعاملی می‌باشد. در این مقاله نیز باید از الگوریتم یادگیری Q در بازی‌های چندعامله استفاده نمود [۲۲، ۲۳].

بازی تصادفی، نمایشگر محیط چندعامله و چندحالتی می‌باشد. بازی تصادفی شامل پنج‌تایی $(n, S, A_{1...n}, T, R_{1...n})$ است که n تعداد بازیکنان (عامل‌ها)، S مجموعه حالت‌ها، A_i مجموعه اعمال موجود برای بازیکن i ام، $A = A_1 * A_2 * \dots * A_n$ فضای مشترک اعمال، T تابع گذار $[0,1] \rightarrow S * A$ و R_i تابع پاداش برای عامل i ام می‌باشد [۲۴]. در نظریه بازی‌ها، استراتژی یا راهبرد یک بازیکن در یک بازی، مجموعه کامل از اعمالی است که در هر موقعیت انجام می‌دهد.

استراتژی به‌طور کامل رفتار بازیکن را بیان می‌کند. استراتژی بازیکنان ممکن است استراتژی محض باشد که اعمال را به‌صورت قطعی انتخاب کنند و یا استراتژی ترکیبی باشد که هر یک از اعمال با یک احتمال خاص انتخاب شوند. بازی‌های ترکیبی در روش پیشنهادی مورد نظر است که در آن یادگیرنده از تابع $\pi: S \times A \rightarrow [0,1]$ برای نگاشت حالت‌ها به احتمال انتخاب اعمال بازیکنان با هدف رسیدن به بیشینه پاداش استفاده می‌کند.

الگوریتم‌های یادگیری تقویتی چندعامله نوعی از الگوریتم‌های یادگیری است که عامل‌ها سعی در پیدا کردن یک استراتژی بهینه در بازی تصادفی دارند. دو خصوصیت مناسب و بارز این نوع الگوریتم‌ها منطقی عمل کردن و قابلیت همگرایی است. یعنی اگر سیاست دیگر بازیکنان به سمت سیاست‌های ثابت و پایدار همگرا شود، یادگیرنده نیز به‌سوی بهترین پاسخ همگرا می‌شود. بنابراین اگر همه بازیکنان از یک منطق و همگرایی در الگوریتم یادگیری استفاده کنند، همه بازیکنان

Policy، آستانه‌های پنجره رقابت و حداکثر فرصت ارسال را انتخاب و بر اساس آن MAC را تنظیم می‌کند.

(۲) میزان کیفیت دریافت کاربر در یک دوره زمانی به یادگیرنده اعلان می‌شود و پاداش و بازخورد مناسب یادگیرنده از آن استخراج می‌شود (با توجه به سطح QoE مورد نیاز آن کاربر مطابق رابطه (۲)).

(۳) یادگیرنده بر اساس بازخورد مذکور و وضعیت جدید، احتمال انتخاب هر عمل را برای حالت مذکور اصلاح می‌کند.

(۴) با تکرار مراحل یادگیری فوق، احتمال انتخاب پارامترهای ارسال به سمت همگرایی حرکت می‌کند.

در بخش بعد به بررسی نتایج ارزیابی روش پیشنهادی می‌پردازیم.

۴- شبیه‌سازی و نتایج

برای ارزیابی کارایی پروتکل ارائه شده از شبیه‌ساز NS-2 استفاده شده است و برای انتقال محتوای ویدئوی واقعی و تخمین کیفیت دریافت آن بسته Evalvid [۱۱] توسعه داده شده است که این بسته معیار PSNR را برای تخمین QoE استفاده می‌کند. در جدول ۳ برخی پارامترهای مربوط به شبیه‌سازی نمایش داده شده است. پارامترهای یادگیرنده در این شبیه‌سازی به صورت تجربی تعیین شده‌اند.

جدول ۳: پارامترهای شبیه‌سازی

نام پارامتر	مقدار پارامتر
مدل انتشار	Tow Ray Ground
اندازه صف واسط شبکه گره‌ها	۵۰ فریم
اندازه بسته‌ها	۱۰۲۸ بایت
نرخ تولید فریم	۳۰
نوع فایل ویدئو	MPEG-4
ابعاد فریم‌های ویدئو	۱۴۴×۱۶۷
β	۰/۹
γ	۰/۱
δ_l	۰/۴
δ_w	۰/۱

۴-۱- شبیه‌سازی اول

سناریوی شبیه‌سازی اول شامل ۱۶ ایستگاه کاری بی‌سیم و یک نقطه دسترسی (AP) است که به یک گره ثابت متصل است. ارتباط ویدئویی ایستگاه‌های کاری بی‌سیم با گره ثابت از طریق AP و در مد EDCA برقرار می‌شود. سطوح انتظار کیفی کاربران در سه گروه طبق جدول ۴ تعریف شده است. دلیل این گروه‌بندی، داشتن انواع مختلفی از کاربران با انتظارات متفاوت است تا تنوع رضایت کاربران به نحو مناسب مدل شود. در تعیین محدوده‌ها به مقادیر جدول ۱ و همچنین مقدار PSNR مرجع ویدئوی انتخاب شده (که حدود ۳۴ دسی‌بل است) توجه شده

$$reward = \frac{PSNR_{max} - ((PSNR_{max} + PSNR_{min}) / 2)}{\left| PSNR_c - \left(\frac{PSNR_{max} + PSNR_{min}}{2} \right) \right| + 1} \quad (5)$$

در رابطه (۵)، $PSNR_c$ مقدار جاری PSNR ویدئوی دریافتی است و $PSNR_{min}$ و $PSNR_{max}$ حداقل و حداکثر PSNR قابل قبول برای کاربر با توجه به سطح انتظار کیفی وی می‌باشد. رابطه (۵) برای کاربران گروه‌های مختلف که دارای سطوح انتظار کیفی متفاوتی هستند، میزان پاداش را با توجه به فاصله PSNR جاری نسبت به بهترین و بدترین سطح PSNR قابل قبول برای آن گروه، محاسبه می‌کند. شایان ذکر است که روش پیشنهادی در لایه ۲ هر یک از گره‌های شبکه WiFi کار می‌کند و دسترسی به مقدار PSNR ویدئوی دریافتی گیرنده، به واسطه یک رویکرد بین لایه‌ای صورت می‌پذیرد تا کیفیت ارتباط ویدئویی که در لایه کاربرد اندازه‌گیری و تبادل شده، به تصمیم‌گیرنده لایه ۲ منتقل گردد.

همچنین، لازم به تأکید است که تعیین آستانه انتظار کاربران از معیار PSNR، قابل تأمل است. اگرچه مواردی نظیر جدول ۱ برای نگاشت سطوح به درجات رضایت مختلف پیشنهاد می‌شود، اما در پیاده‌سازی‌های واقعی، این بازخورد ($reward$) می‌تواند به واسطه نظر مستقیم کاربر (ارزیابی فردی) و یا ارزیابی مجموعه‌ای از عکس‌العمل‌های کاربر لحاظ گردد تا نتیجه دقیق‌تری حاصل شود.

در روش پیشنهادی، فضای عملیات ممکن برای یادگیری تقویتی چندعامله، شامل مجموعه‌ای از آستانه‌های پنجره رقابتی و برای حداکثر فرصت ارسال فریم نیز به صورت یک عملگر تغییر سه‌حالتی (بدون تغییر، افزایش و کاهش)، تعریف شده است.

تعریف فضای حالت یادگیرنده به دو شیوه قابل انجام است. در شیوه اول، می‌توان از کیفیت ویدئوی گیرنده، وضعیت شلوغی شبکه را حدس زد. اما شیوه دقیق‌تر، تخمین تعداد گره‌های رقابت‌کننده بر سر کانال (به کمک دفعات ارسال موفق و ناموفق بسته) مورد نیاز و تعریف وضعیت بر اساس آن است. تخمین تعداد گره‌های همسایه از رابطه (۶) به دست می‌آید [۲۵].

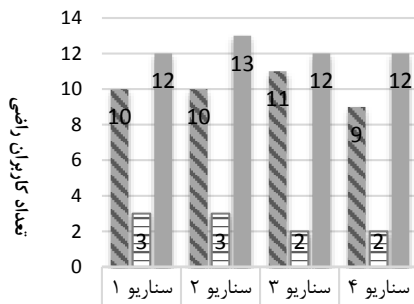
$$n \approx 1 + (E[c(B)](W + 1)) / 2B \quad (6)$$

که در آن $E[c(B)]$ امید ریاضی مربوط به اسلات‌های زمانی ارسال‌های ناموفق، B نشان‌دهنده تعداد کل اسلات‌های مربوط به ارسال‌های موفق و ناموفق و W نشان‌دهنده اندازه پنجره رقابتی کنونی است. در این صورت، شلوغی شبکه به یکی از سطوح بالا، متوسط و یا پایین نگاشت و بر اساس آن، وضعیت محیط مشخص می‌شود. لذا ماتریس‌های Q و π از ابعاد ۳ در ۲۷ است که تعداد حالات برابر ۳ و تعداد عملیات‌های تعریف شده در فضای عملیات برابر ۲۷ می‌باشد.

روال زیر نحوه عملکرد روش‌های پیشنهادی را معرفی کرده است:

(۱) یادگیرنده بر اساس وضعیت جاری (سطح کیفی یا تعداد گره همسایه تخمین زده شده) و با توجه به ماتریس

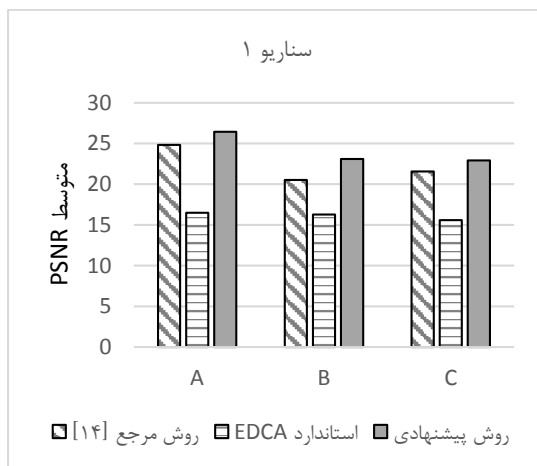
جریان ترافیک ویدئو به گیرنده متناظر خود در شبکه بی سیم اقتضایی می باشد (برخلاف سناریوی قبلی که همه در حال رقابت برای ارسال به AP بودند).



روش	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
روش مرجع [۱۴] - راضی	10	10	11	9
روش استاندارد - راضی	3	3	2	2
روش پیشنهادی - راضی	12	13	12	12

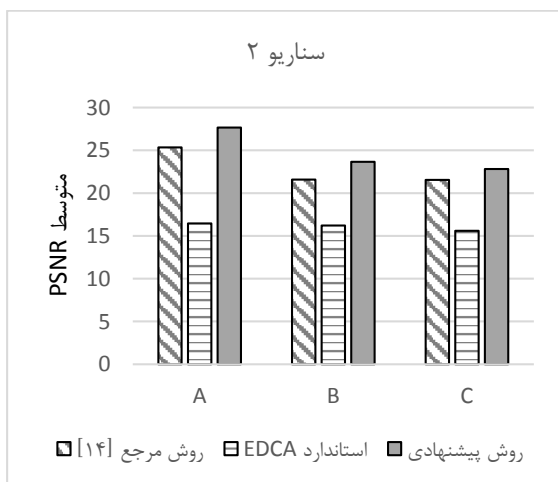
■ روش استاندارد - راضی □ روش مرجع [۱۴] - راضی
 ■ روش پیشنهادی - راضی

شکل ۲: نمودار تعداد کاربران راضی در چهار سناریو



■ روش پیشنهادی □ روش مرجع [۱۴] ■ روش استاندارد EDCA

شکل ۳: نمودار متوسط PSNR کاربران در سناریو (۱)



■ روش پیشنهادی □ روش مرجع [۱۴] ■ روش استاندارد EDCA

شکل ۴: نمودار متوسط PSNR کاربران در سناریو (۲)

است. بازخورد ورودی به یادگیرنده هر گره با توجه به کمینه و بیشینه آستانه رضایت کاربر آن (بسته به اینکه کاربر در گروه A، یا B، یا C باشد) محاسبه می شود.

جدول ۴: گروه های کاربران و آستانه رضایت آن ها

حالت / نام گروه کاربری	مقدار کمینه آستانه رضایت (dB)	مقدار بیشینه آستانه رضایت (dB)
A	۲۶	۳۱
B	۲۱	۲۶
C	۱۶	۲۱

در ادامه، روش پیشنهادی با روش EDCA سنتی و با روش ارائه شده در [۱۴] مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی بر حسب تعداد کاربران راضی و به ازای سناریوهای متفاوت که درصد کاربران هر یک از گروه های A، B و C در آن ها متفاوت است، بررسی شده است. جدول ۵، درصد کاربران هر یک از گروه های A، B و C را برای هر سناریو نشان است. کاربران راضی بر اساس تأمین کمینه PSNR مورد نظرشان، مشخص می شوند.

جدول ۵: سناریوهای تقسیم کاربران به گروه های با سطح رضایت متفاوت

نام سناریو	دسته بندی ایستگاهها
سناریو ۱	۳۱ درصد گروه A، ۳۱ درصد گروه B، ۳۸ درصد گروه C
سناریو ۲	۲۶ درصد گروه A، ۳۷ درصد گروه B، ۳۷ درصد گروه C
سناریو ۳	۲۵ درصد گروه A، ۵۰ درصد گروه B، ۲۵ درصد گروه C
سناریو ۴	۵۰ درصد گروه A، ۲۵ درصد گروه B، ۲۵ درصد گروه C

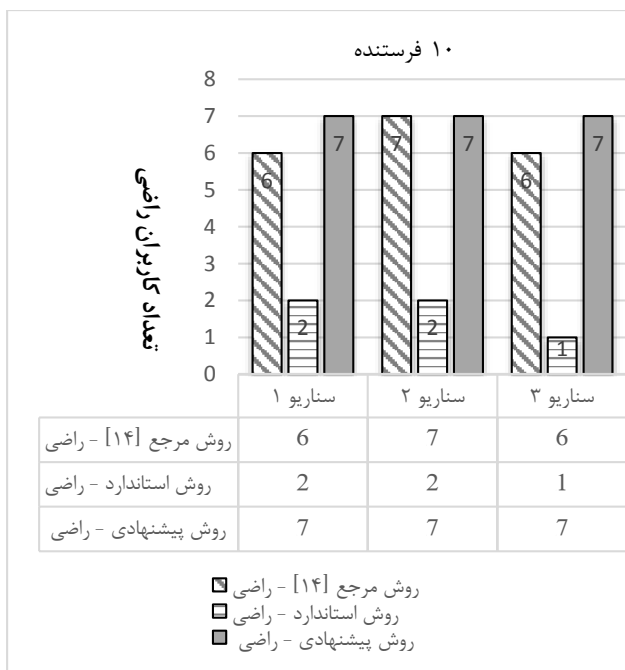
نتایج به دست آمده پس از گذشته ۲۷ تکرار یادگیری شبیه سازی استخراج شده است. در شبیه سازی روش پیشنهادی، پس از هر بار اتمام شبیه سازی سناریو، نتایج یادگیرنده ذخیره شده و شبیه سازی مجدداً تکرار شده است.

نمودار نشان داده شده در شکل ۲، تعداد کاربران راضی را به ازای هر یک از چهار سناریوی جدول ۳، در هر یک از سه روش EDCA، روش مرجع [۱۴] و روش پیشنهادی، مقایسه کرده است. نتایج این نمودارها حاکی از افزایش ۱۰ الی ۳۰ درصدی تعداد مشتریان راضی نسبت به روش مرجع [۱۴] و در نتیجه بهبود بهره وری واقعی، بر اساس رضایت تعداد بیش تری از کاربران است.

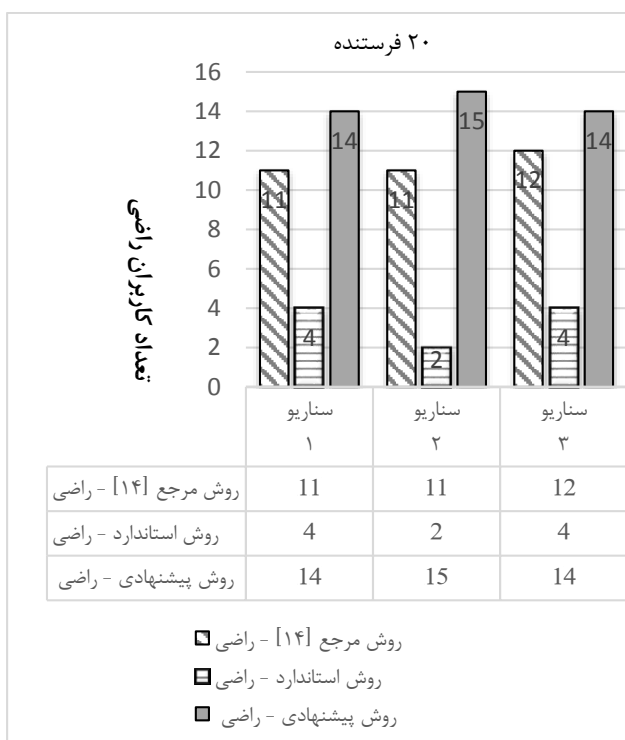
در شکل های ۳، ۴، ۵ و ۶ نیز متوسط PSNR کلیه ایستگاه ها در چهار سناریو مزبور مورد مقایسه قرار گرفته است که در کلیه سناریوها روش پیشنهادی توانسته است کیفیت دریافت را در مجموع بهبود ببخشد.

۴-۲- شبیه سازی دوم

در شبیه سازی دوم، یک شبکه اقتضایی با زوج فرستنده و گیرنده های مجزا در نظر گرفته شده است. فرستنده ها در حال رقابت برای ارسال

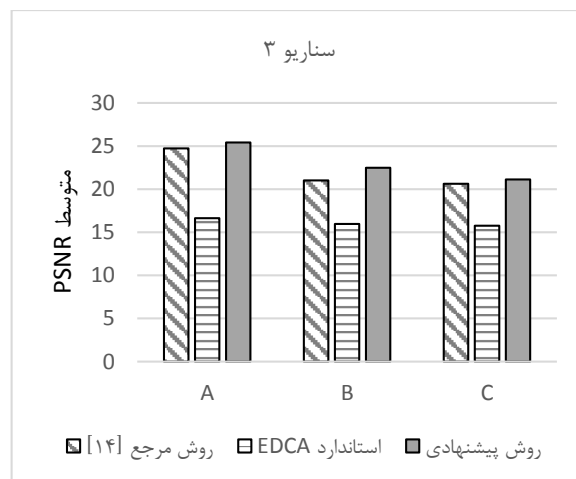


شکل ۷: مقایسه تعداد کاربران راضی در شبکه خلوت

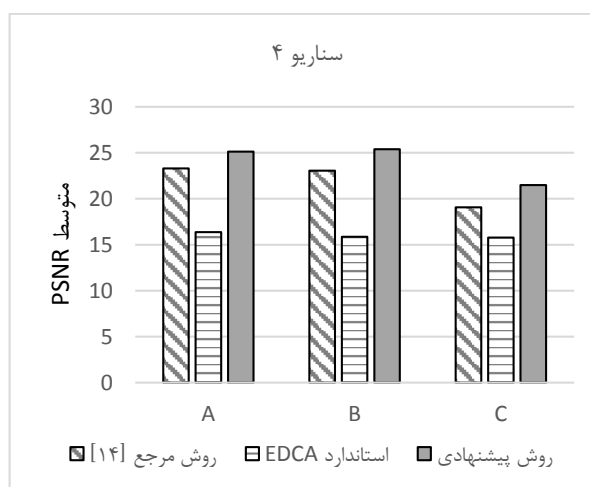


شکل ۸: مقایسه تعداد کاربران راضی در شبکه با شلوغی متوسط

در شبیه‌سازی روش پیشنهادی، پس از هر بار اتمام شبیه‌سازی سناریو، نتایج یادگیرنده ذخیره و شبیه‌سازی مجدداً تکرار شده است. در شکل‌های ۱۰ الی ۱۲، متوسط PSNR کاربران به‌ازای تکرارهای متوالی شبیه‌سازی، نشان داده شده است که این نتایج حکایت از بهبود عملکرد یادگیرنده با تکرار یادگیری دارد و این نتایج به مرور همگرا می‌شود.



شکل ۵: نمودار متوسط PSNR کاربران در سناریو (۳)

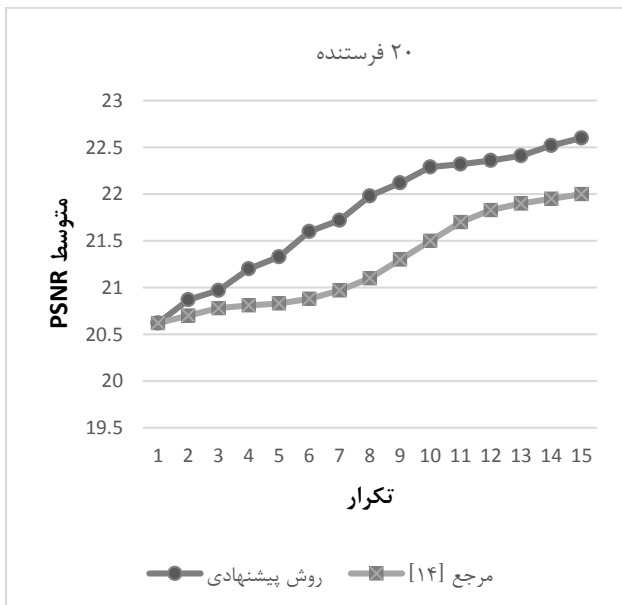


شکل ۶: نمودار متوسط PSNR کاربران در سناریو (۴)

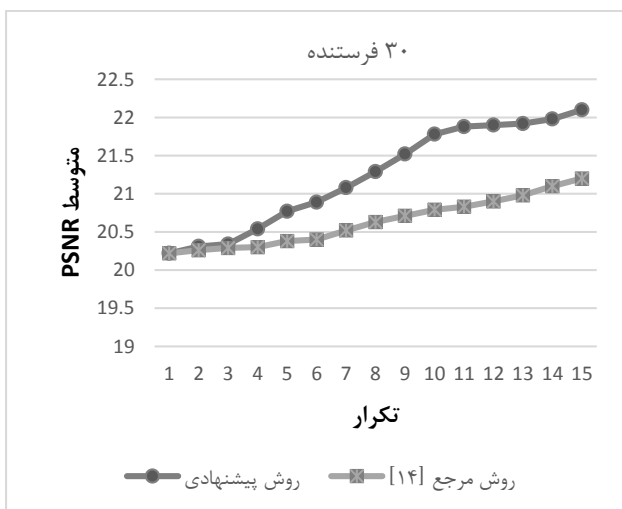
در این شبیه‌سازی نیز استاندارد EDCA و روش قبلی که بر اساس اتوماتای تصادفی می‌باشد، با روش جدید مقایسه خواهد شد. از آنجایی که حالات بر اساس تخمین تعداد نودهای همسایه تعریف می‌شود، فاصله گرہ‌ها و موقعیت آن‌ها نقش به‌سزایی در به وجود آوردن حالات شلوغی زیاد، شلوغی متوسط و خلوت دارد. لذا توپولوژی شبکه در شبیه‌سازی دوم برای شرایط مختلف با تعداد فرستنده‌های متفاوت در نظر گرفته شده تا شرایط شلوغی زیاد، شلوغی متوسط و خلوتی شبکه، لحاظ شود.

نمودار شکل‌های ۷ الی ۹ تعداد کاربران راضی را برای تعداد ۱۰ فرستنده (وضعیت خلوت شبکه)، ۲۰ فرستنده (شلوغی متوسط) و ۳۰ فرستنده (وضعیت شلوغ شبکه) با آستانه‌های رضایت مختلف، نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود روش پیشنهادی باعث افزایش تعداد کاربران راضی شده است. این بهبود در شرایط خلوتی شبکه که تعداد فرستنده‌ها کم است، خیلی قابل توجه نیست، اما با افزایش تعداد فرستنده‌ها و در شرایط بار متوسط تا زیاد شبکه، بهبودی حدود ۳۰ درصدی نسبت به مرجع [۱۴] قابل مشاهده است.

فرصت ارسال است. بهبود نسبت به روش مرجع [۱۴] نیز به دلیل استفاده از الگوریتم یادگیری کارآمدتر و همگرایی سریعتر (پس از ۱۰ تکرار یادگیرنده)، حاصل شده است. A نمایش دهنده سطح انتظار بالا، B نمایش دهنده سطح انتظار متوسط و C نمایش دهنده سطح انتظار پایین کاربران می‌باشد.

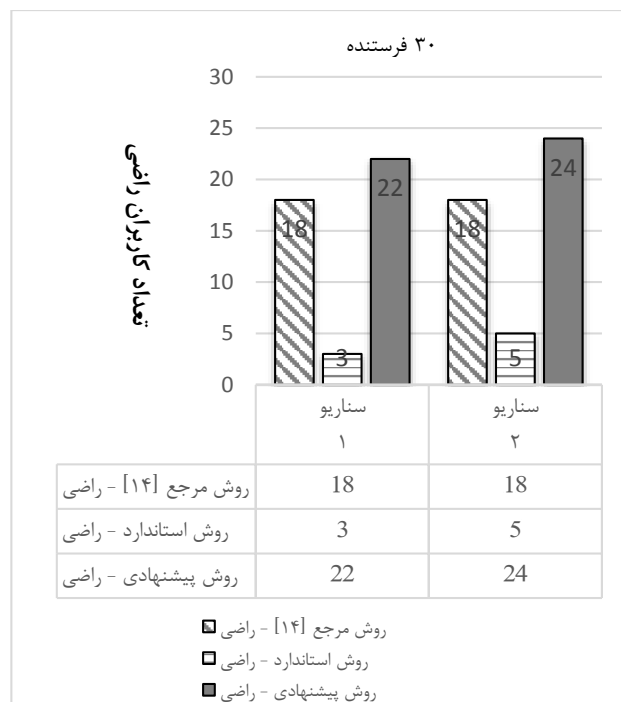


شکل ۱۱: نمودار متوسط PSNR کلیه کاربران در وضعیت شلوغی متوسط به‌ازای تکرارهای متوالی



شکل ۱۲: نمودار متوسط PSNR کلیه کاربران در وضعیت شلوغی به‌ازای تکرارهای متوالی

در نمودار شکل‌های ۱۶ الی ۱۸ نیز متوسط PSNR کلیه ایستگاه‌ها در شرایط مختلف (میانگین در کلیه شرایط شبکه) با روش استاندارد و روش مرجع [۱۴] مورد مقایسه قرار گرفته است که در سه وضعیت شلوغی مختلف، روش پیشنهادی توانسته است کیفیت دریافت را در مجموع بهبود بخشد. این امر نیز حاکی از بهبود کلی روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مقایسه‌شده می‌باشد که به دلیل استفاده از بازخورد کیفی (در مقایسه با روش استاندارد) و به‌کارگیری روش یادگیری



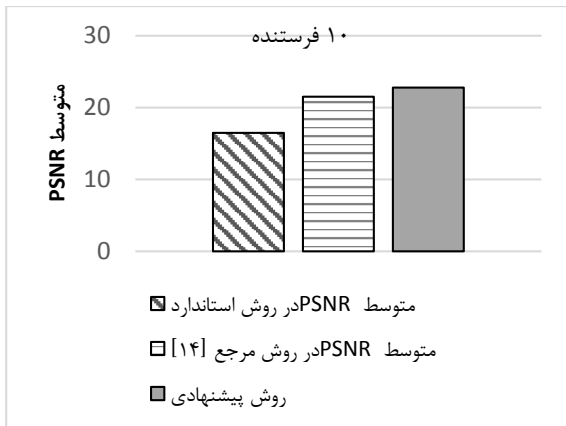
شکل ۹: مقایسه تعداد کاربران راضی در شبکه شلوغ



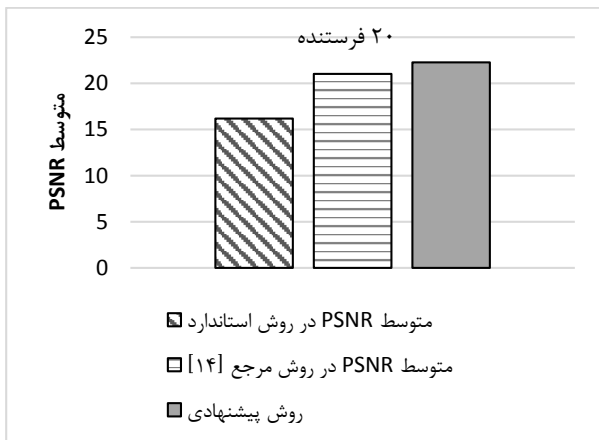
شکل ۱۰: نمودار متوسط PSNR کلیه کاربران در وضعیت خلوت به‌ازای تکرارهای متوالی

همان‌طور که شکل‌ها نشان می‌دهند، یادگیرنده مورد استفاده در روش پیشنهادی، کیفیت عملکرد بهتری نسبت به یادگیرنده روش مرجع داشته و به متوسط PSNR بهتری همگرا می‌شود. این همگرایی برای سناریوی با ۱۰ فرستنده مشهودتر است، اما با افزایش فرستنده‌ها و شلوغی محیط، این همگرایی در زمان طولانی‌تری اتفاق خواهد افتاد.

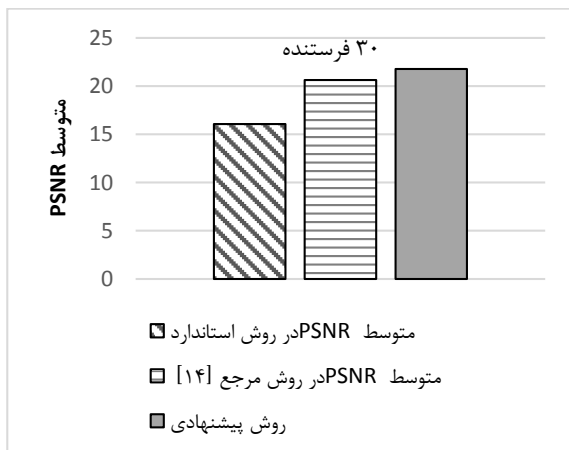
در نمودار شکل‌های ۱۳ الی ۱۵ نیز متوسط PSNR کلیه ایستگاه‌ها براساس سطح سرویس مورد انتظار کاربران با تعداد فرستنده‌های متفاوت (برای یک سناریو) مورد مقایسه قرار گرفته است که روش پیشنهادی توانسته است کیفیت دریافت را در تمامی سطوح نیازمندی، بهبود ببخشد. دلیل بهبود نسبت به روش استاندارد، توجه به PSNR مورد نیاز کاربران در تنظیم آستانه‌های پنجره رقابت و



شکل ۱۶: نمودار متوسط PSNR کلیه کاربران در وضعیت خلوت



شکل ۱۷: نمودار متوسط PSNR کلیه کاربران در وضعیت شلوغی متوسط

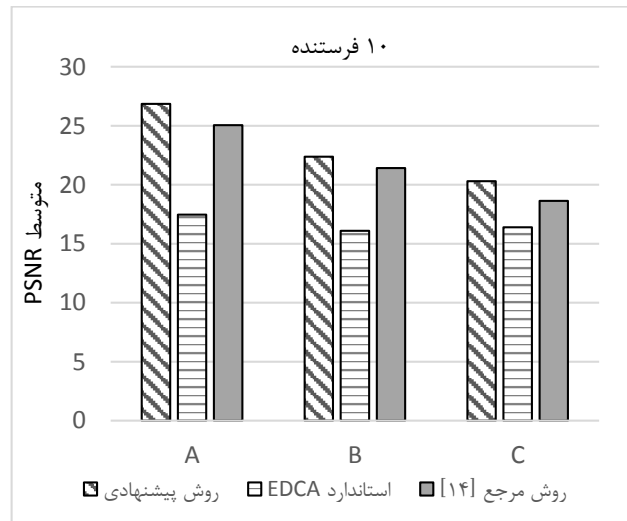


شکل ۱۸: نمودار متوسط PSNR کلیه کاربران در وضعیت شلوغ

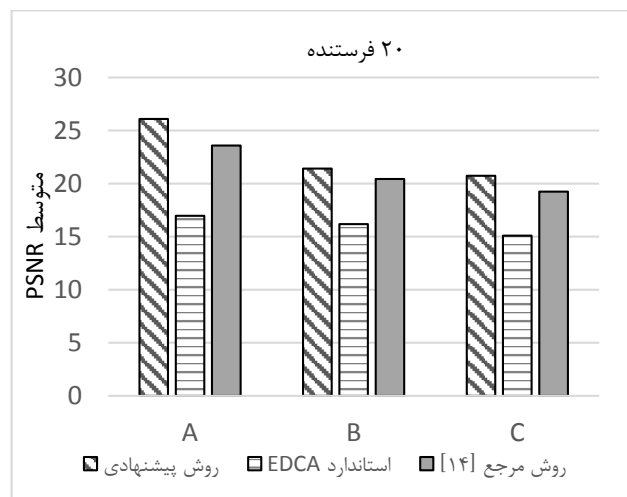
۵- نتیجه‌گیری

استفاده از بازخورد کیفیت تجربه کاربران می‌تواند در مدیریت بهتر منابع در لایه MAC مورد استفاده قرار گیرد. روش پیشنهادی در این مقاله توانسته است با استفاده از یادگیری تقویتی چندعامله WoLF-PHC و اعمال بازخورد از سطح انتظار کیفیت دریافت کاربران، تعداد مشتریان بیش‌تری را راضی نگه دارد و به تعبیر دیگر، با در نظر گرفتن

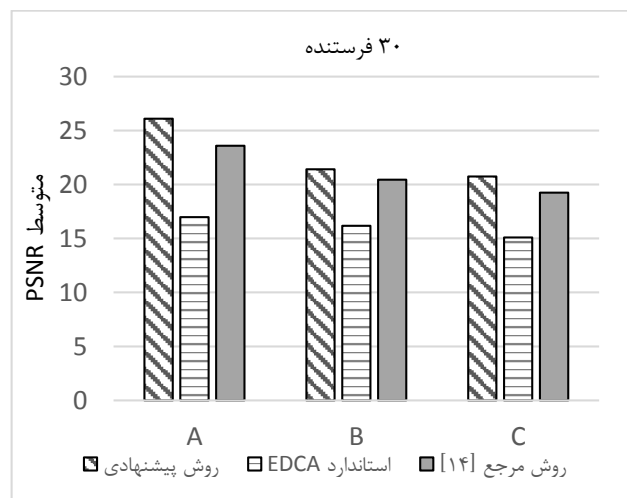
مناسب‌تر (که در مقایسه با مرجع ۱۴، وضعیت محیط را لحاظ کرده و تنظیم نرخ یادگیری را به‌صورت وقتی انجام می‌دهد)، حاصل شده است.



شکل ۱۳: متوسط PSNR بر اساس سطح سرویس مورد انتظار کاربران



شکل ۱۴: متوسط PSNR بر اساس سطح سرویس مورد انتظار کاربران



شکل ۱۵: متوسط PSNR بر اساس سطح سرویس مورد انتظار کاربران

- wireless LAN,” *Fifth International Conference on Information, Communications and Signal Processing*, pp. 659-663, 2005.
- [13] R. Pries, S. Menth, D. Staehle, M. Menth and P. Tran-Gia, “Dynamic contention window adaptation (DCWA) in IEEE 802.11e wireless local area networks,” *Second International Conference on Communications and Electronics*, pp. 92-97, 2008.
- [14] Y. Zhang, W. Li, J. Zhang, H. Long, and W. Wang, “Performance analysis and QoE-aware enhancement for IEEE 802.11e EDCA under unsaturations,” *Vehicular Technology Conference*, pp. 1-5, 2011.
- [15] S. Prasetya, B. Rahmat and E. Susanto, “Quality of service improvement with 802.11e EDCA scheme using enhanced adaptive contention window algorithm,” *IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNESTAT)*, pp. 80-85, 2015.
- [16] J. Y. Lee, H. Y. Young, J. Shin and S. Valaee, “Distributed optimal TXOP control for throughput requirements in IEEE 802.11e wireless LAN,” *22nd International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 935-939, 2011.
- [17] A. Andreadis and R. Zambon, “Improving QoS performance in IEEE 802.11e under heavy traffic loads,” *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. 19, no. 1, pp. 49-61, 2012.
- [18] M. Ghazvini, N. Movahedinia and K. Jamshidi, “A game theoretic approach for QoS provisioning using transmission opportunity tuning,” *PLoS One*, vol. 2013, no. 7, pp. 3752-3767, 2013.
- [19] D. Lee and K. Chung, “Dynamic traffic prioritization and TXOP allocation in 802.11e based multihop wireless network,” *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 3, no. 1, pp. 1-10, 2012.
- [20] E. Kim and Y. J. Suh, “ATXOP: An adaptive TXOP based on the data rate to guarantee fairness for IEEE 802.11e wireless LANs,” *60th Vehicular Technology Conference*, pp. 2678-2682, 2004.
- [21] E. Kim and Y. J. Suh, “A rate adaptive transmission opportunity for fairness over IEEE 802.11e wireless LANs,” *IEEE International Conference on Communications*, pp. 4523-4528, 2007.
- [22] Z. Zhu, F. Cao and Z. Fan, “WLAN throughput management: A game theoretic TXOP scheduling approach,” *IEEE 20th International Workshop on Computer Aided Modelling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, pp. 161-164, 2015.
- [23] M. McGlohon and S. Sen, “Learning to cooperative in multi-agent systems by combining Q-learning and evolutionary strategy,” *International Journal on Lateral Computing*, vol. 1, no. 2, pp. 58-64, 2005.
- [24] L. Busoni, R. Babuska and B. De. Schutter, “Reinforcement learning for multiagent system: a survey,” *9th ICARCV Conference*, pp. 527-532, 2006.
- [25] A. P. Shafran, “Learning in games with risky payoffs,” *Games and Economic Behavior*, vol. 75, no. 1, pp. 354-371, 2012.
- کیفیت دریافت کاربران، توانسته است بهره‌وری بیشتری در استفاده از منابع رادیویی را در شرایط یکسان نسبت به روش‌های پیشین فراهم کند. پیاده‌سازی واقعی و استفاده از بازخورد فردی کاربران (به‌جای PSNR) از جمله مواردی است که برای ادامه این تحقیق پیشنهاد می‌گردد.
- ### مراجع
- [1] IEEE 802.11e. *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and physical Layer (PHY) specifications, Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancement*, 2005.
- [2] Z. Liang, W. Yonggang, W. Haohong and M. Guizani, “Resource allocation with incomplete information for QoE-driven multimedia communications,” *Wireless Communications*, vol. 12, no. 8, pp. 3733-3745, 2013.
- [۲] مرتضی غنی‌زاده و بهروز شاهقلی، «آگاهی از کیفیت تجربه کاربر در کنترل دسترسی به رسانه مبتنی بر پروتکل IEEE 802.11e»، بیست و دومین کنفرانس مهندسی برق ایران (ICEE2014)، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۱۳۹۳.
- [4] K. Kilkki, “Quality of experience in communications ecosystem,” *Journal of Universal Computer Science*, vol. 14, no. 5, pp. 615-624, 2008.
- [5] J. Zhang and N. Ansari, “On assuring end-to-end QoE in next generation networks: challenges and a possible solution”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 7, pp. 185-191, 2011.
- [6] D. Hamilton, N. Maynooth, P. Clifford, and D. J. Leith, “MAC layer channel quality measurement in 802.11,” *Communications Letters*, vol. 11, no. 2, pp. 143-145, 2007.
- [7] Z. Jingjing and N. Ansari, “On assuring end-to-end QoE in next generation networks: challenges and a possible solution,” *Communications Magazine*, vol. 49, no. 7, pp. 185-191, 2011.
- [8] A. Andreadis and R. Zambon, “Improving QoS performance in IEEE 802.11e under heavy traffic loads,” *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. 19, no. 1, pp. 49-61, 2012.
- [9] P. Calyam, E. Ekici, L. Chang-Gun, M. Haffner and N. Howes, “A GAP-model based framework for online VoIP QoE measurement,” *Journal Communications and Networks*, vol. 9, no. 4, pp. 446-456, 2007.
- [10] B. A. H. S. Abeysekera, T. Matsuda and T. Takine, “Dynamic contention window control scheme in IEEE 802.11e wireless LANs,” *IEEE 69th Vehicular Technology Conference*, pp. 1-5, 2009.
- [11] Y. W. Lan, J. H. Yeh, J. C. Chen and Z. T. Chou, “Performance enhancement of IEEE 802.11e EDCA by contention adaption,” *61st IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 2096-2100, 2005.
- [12] S. Takeuchi, K. Sezaki and Y. Yasuda, “Dynamic adaptation of contention window sizes in IEEE 802.11e

زیر نویس‌ها

⁵ Subjective QoE

⁶ Objective QoE

⁷ Peak Signal to Noise (PSNR)

⁸ Mean Opinion Score (MOS)

⁹ Win or Learn Fast Policy Hill Climbing (WoLF-PHC)

¹ Arbitrary Inter Frame Space (AIFS)

² Minimum Contention Window (CW_{min})

³ Maximum Contention Window (CW_{max})

⁴ Quality of Experience (QoE)