APJ. 6 (2):39-48, Summer 2025

Arman Process Journal (APJ)

Arman Process Journal (APJ)

Homepage: https://www.armanprocessjournal.ir

Issn online: 2783-4549

Taxonomic Approach toward Evaluation of Quality of Experience for Video Services

Sadegh Ziaee[*,1]

[1]Department of Computer Engineering, Ab.C., Islamic Azad University, Abhar, Iran

ABSTRACT

RESEARCH PAPER

Received:
11 March 2025

Accepted:
16 July 2025

Keywords:
Software-defined networking, Quality of user experience, Video streams, Network resource allocation,

[1] **Corresponding author:**
sadeghziaee@iau.ac.ir

Nowadays, with the increasing use of real-time applications and multimedia content such as online videos and live streaming, the need for optimization-based approaches to manage resources and enhance the quality of end-user experience has become one of the important requirements and main challenges of network service providers. This research first examines the challenges and solutions to improve the quality of user experience in software-defined networks for video streams, and then designs and proposes a new classification perspective and a multi-objective model to evaluate different dimensions of the problem of managing the quality of user experience in common video services in distributed networks. The proposed approach provides a documented and structured framework for optimal resource allocation and efficient management of this network. Covering such approaches in high-level network management not only helps improve the quality of end-user experience, optimize video streams, and reduce latency, but also increases network efficiency and reduces operating costs by creating a multidimensional and comprehensive perspective and optimal use of available resources.

Copyright © Author(s).

نشریه تخصصی آرمان پردازش، دوره ۶، شماره ۲، سال ۱۴۰۴

فصلنامه تخصصی آرمان پردازش
(APJ)
Homepage: www.armanprocessjournal.ir
شاپای الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۴۹

فصلنامه تخصصی فناوری اطلاعات و ارتباطات
شماره مجوز: ۸۷۰۹۰

دیدگاه رده بندی درجهت ارزیابی کیفیت تجربه در خدمات ویدیویی

صادق ضیایی[1*]

[1] گروه مهندسی کامپیوتر، واحد ابهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ابهر، ایران

چکیده

مقاله پژوهشی

امروزه با رشد روزافزون استفاده از برنامه‌های بلادرنگ و محتواهای چندرسانه‌ای نظیر ویدئوهای آنلاین و پخش زنده، نیاز به رویکردهای مبتنی بر بهینه‌سازی جهت مدیریت منابع و افزایش کیفیت تجربه کاربر نهائی، به یکی از نیازمندی های مهم و چالش‌های اصلی ارائه‌دهندگان خدمات شبکه تبدیل شده است. این پژوهش ابتدا به بررسی چالش‌ها و راهکارهای بهبود کیفیت تجربه کاربر در شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار برای جریان‌های ویدئویی پرداخته و سپس یک دیدگاه رده بندی نوین و مدلی چندمنظوره جهت ارزیابی ابعاد مختلف مساله مدیریت کیفیت تجربه کاربر در خدمات ویدیویی رایج در شبکه های توزیعی طراحی و پیشنهاد می نماید. رویکرد پیشنهادی چارچوبی مدون و ساختاریافته درجهت تخصیص بهینه منابع و مدیریت کارآمد این شبکه ارائه می‌نماید. پوشش دادن چنین رویکردهائی در مدیریت سطح بالای شبکه نه تنها به بهبود کیفیت تجربه کاربر نهائی، بهینه سازی جریان‌های ویدئویی و کاهش تأخیر کمک می‌کند، بلکه با ایجاد دیدگاهی چندبعدی و جامع و بهره گیری بهینه از منابع موجود، موجب افزایش کارایی شبکه و کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌گردد.

تاریخ دریافت مقاله:
۱۴۰۳/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴ /۴/۲۵

واژگان کلیدی:
شبکه تعریف‌شده توسط نرم‌افزار،
کیفیت تجربه کاربری،
جریان‌های ویدیویی،
تخصیص منابع شبکه،

Copyright © Author(s).

۱- مقدمه

با توجه به افزایش برنامه‌های کاربردی بلادرنگ مبتنی بر وب مانند تلویزیون اینترنتی، کنفرانس‌های ویدئویی آنلاین، بازی‌های رایانه‌ای آنلاین و ... از یک سو و تغییر میزان رضایت کاربران از این برنامه‌ها از سوی دیگر نیاز به ارائه شیوه‌های نوینی جهت افزایش کیفیت تجربه کاربر[1] میزان رضایتمندی کاربران برای یک سرویس در حال ارائه می‌باشد تا به نوعی مدیریت منابع منطبق با محدودیتها و نیازها و خواسته‌های شخصی کاربران باشد، تا در صورت عدم برآورده شدن آنها تغییراتی در پارامترهای شبکه یا برنامه کاربردی صورت گیرد و امکان جلب رضایت کاربران مختلف فراهم شود [۱]. این چالشها ارائه‌دهندگان خدمات شبکه‌ای و برنامه‌های کاربردی را به فکر یافتن راه‌حل مناسبی جهت حل مشکل افت کیفیت سرویس وا داشته و از آنجایی که شیوه‌های تعیین میزان QoE کاربران از یک سرویس را می‌توان همزمان با ارائه سرویس بکار برد، امکان بهره‌گیری از این نتایج با تغییر پارامترهای مختلف بوجود می‌آید [۲].

کیفیت تجربه به ارزیابی ذهنی کاربران نهایی از کیفیت خدمات ویدئو استریمینگ اشاره دارد؛ این معیار بر اساس ابعاد مختلف و متنوع مبتنی بر احساس رضایت و کیفیت درک شده توسط کاربران سنجیده می‌شود، نه فقط معیارهای فنی. از ابعاد مهم QoE می‌توان به زمان بارگذاری ویدئو، نرخ بافرینگ (توقف ویدئو برای بارگذاری)، وضوح تصویر، نرخ فریم و کیفیت صدای ویدئو اشاره کرد. همچنین عواملی مانند نوع دستگاه پخش، شرایط شبکه (پهنای باند، تأخیر)، و طراحی پلیر و رابط کاربری نیز بر QoE تأثیرگذارند. تأثیر QoEبر خدمات ویدئو استریمینگ بسیار مهم است زیرا تجربه کاربر نهایی به طور مستقیم روی میزان تعامل، حفظ کاربران و درآمد خدمات‌دهندگان تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، کیفیت پایین در پخش ویدئو (مانند بافرینگ زیاد یا افت کیفیت تصویر) می‌تواند باعث کاهش رضایت کاربران و ترک استفاده از سرویس شود. بنابراین، بهینه‌سازی QoE با پارامترهایی مثل کاهش تأخیر، جلوگیری از قطعی و بهبود کیفیت تصویر از اولویت‌های اصلی ارائه‌دهندگان خدمات ویدئویی است [۴-۳].

با توجه به ضرورت، این پژوهش ابتدا به بررسی چالش‌ها و راهکارهای بهبود کیفیت تجربه کاربر در شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار برای جریان‌های ویدئویی پرداخته و سپس یک دیدگاه رده بندی نوین و مدلی چندمنظوره جهت ارزیابی ابعاد مختلف مساله مدیریت کیفیت تجربه کاربر در خدمات ویدیویی رایج در شبکه های توزیعی طراحی و پیشنهاد می نماید. رویکرد پیشنهادی چارچوبی مدون و ساختاریافته درجهت تخصیص بهینه منابع و مدیریت کارآمد این شبکه ارائه می‌نماید. استفاده از رویکرد در این پژوهش سرویس‌دهندگان و مدیران شبکه، ارائه‌دهندگان برنامه‌های کاربردی و کاربران را قادر به تشخیص و مرتفع‌سازی عوامل تاثیرگذار در میزان کیفیت تجربه سرویس می‌نماید. درنظر گرفتن جنبه های مطرح شده در رویکرد پیشنهادی به سرویس‌دهنده این امکان را می‌دهد که در زمان ارائه یک سرویس خاص برای یک مشتری با استفاده بهینه از منابع شبکه، در حالیکه سرویس مشتریان دیگر تضعیف نشود و همچنین عدم افزایش هزینه‌های مشتریان بتواند تا حد امکان سرویسی با کیفیت مناسب در اختیار کاربر بگذارد و به شیوه خاص رضایت او را جلب نماید. از این طریق ارائه دهنده قادر به افزایش تعداد مشتریان خود و همچنین سودآوری بیشتر میگردد، در حالیکه هزینه پرداختی مشتری برای یک سرویس افزایش چندانی نداشته و از طرف دیگر نیاز به استفاده از تجهیزات مختلف برای سرویس‌های خاص مشتریان نمی‌باشد.

۲- پیشینه کیفیت تجربه در شبکه‌های توزیعی

کیفیت تجربه کاربری یک مفهوم کلیدی در جریان‌های رسانه‌ای است که به تجربه کلی و نحوه دریافت و درک و رضایت کاربر نهایی از مصرف محتوای رسانه‌ای اشاره دارد و معیار مهمی در ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه محسوب می‌شود و تا کنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی آن ارائه شده است . اتحادیه بین‌المللی مخابرات- بخش استاندارد سازی فناوری اطلاعات و ارتباطات (ITU-T)، مجموعه‌ای از استانداردها را برای اندازه‌گیری و بهبود QoE در جریان‌های رسانه‌ای تعریف کرده که برخی از این استانداردها عبارت‌اند از[۵-۴]:

- ITU-T P.10/G.100 : این استاندارد واژه‌نامه جامع از اصطلاحات و مفاهیم و تعاریف مرتبط با کیفیت صوت، ویدئو، QoE و QoS در شبکه‌های مخابراتی را ارائه می‌دهد.
- ITU-T P.1201 و ITU-T P.1202 : این استانداردها مدل‌های پارامتریک برای ارزیابی QoE جریانهای ویدئویی ارائه می‌دهند. این مدل‌ها به صورت غیرمستقیم و بدون دسترسی به نسخه اصلی ویدئو، کیفیت را بر اساس داده‌های شبکه و پارامترهای استریمینگ اندازه‌گیری می‌کنند.
- ITU-T P.910 : این استاندارد به ارزیابی ذهنی کیفیت ویدیو می‌پردازد.
- ITU-T J.247 : این استاندارد ارزیابی عینی کیفیت ویدیو با استفاده از روش مرجع کامل (Full Reference) را توصیف می‌کند.
- ITU-T BT.500 : روش‌شناسی برای ارزیابی ذهنی کیفیت تصاویر تلویزیونی را ارائه می‌دهد.

QoE از دیدگاه نسخه دو اصلاحیه استاندارد ITU-T P.10/G.100، به میزان قابل قبول بودن یک کاربرد یا سرویس که توسط کاربر نهایی درک و تجربه می‌شود تعریف شده است. این معیار، دریافت کاربر، انتظارات وی، و تجربه‌های قبلی او در استفاده از خدمات را با پارامترهای

[1] Qulaity of Experience (QoE)

QoS شبکه و کاربرد پیوند می‌دهد. با استفاده از این استانداردها، ارائه‌دهندگان خدمات رسانه‌ای می‌توانند به‌طور دقیق‌تر و علمی‌تر QoE را ارزیابی و بهبود بخشند. این به معنای ارائه سرویس‌های پایدارتر، با کیفیت‌تر و متناسب با نیازهای کاربران نهایی است. از این رو، رعایت این استانداردها برای اپراتورهای شبکه و ارائه‌دهندگان خدمات ویدئویی ضروری است تا بتوانند رقابت‌پذیری خود را در بازار حفظ کنند و رضایت مشتریان را به حداکثر برسانند. از دیدگاه[۶] QoE یک پدیده چند وجهی است که به میزان رضایت یا عدم رضایت کاربر از خدمات وابسته است. رقابت روز افزون ارائه‌دهندگان خدمات در جذب مشتری، تنوع شبکه‌ها و ابزارهای ارتباطی باعث شده‌اند تا استفاده از معیارهای QoS به‌تدریج جای خود را به QoE بدهد. یکی از رویکردهای نوین در پخش محتوای چندرسانه‌ای که در سال‌های اخیر با استقبال زیادی روبرو بوده است، توجه به QoE به جای QoS است. بهبود QoS تنها راه جلب رضایت مشتری نیست و همیشه اینگونه نیست که با بهبود QoS، QoE نیز بهبود یابد. مثلاً گیرنده سیاری را فرض کنید که از نظر توان پردازشی ضعیف است. بهبود کیفیت ارتباط و ارسال محتوای چندرسانه‌ای با کیفیت بالا نه تنها QoE را بهبود نمی دهد بلکه ممکن است باعث افت آن نیز بشود. آگاهی از QoE در جنبه های مختلفی از شبکه مانند مدیریت منابع و مدیریت QoS از ملزومات اینترنت نسل آینده است و در این تحقیق نیز برای افزایش رضایت کاربر مورد توجه قرار گرفته است.

اساسا انتظارات کاربر از خدمات ارائه‌شده در سال‌های اخیر افزایش یافته است، و تأمین خواسته‌های آنها در زمینه خدمات چندرسانه‌ای دشوارتر شده‌است. در جریان‌های چندرسانه‌ای پارامترهای متعددی بر کیفیت صدا و ویدئوی دریافتی تأثیرگذار است. این پارامترها به دو دسته زیر تقسیم میشوند [۶]:

- کیفیت خدمات در سطح کاربرد[1]: که به بررسی پارامترهای کدگذاری و فشرده سازی مانند رزولوشن محتوا، نرخ بیت، نرخ فریم می‌پردازد.
- کیفیت خدمات در سطح شبکه[2]: که به پارامترهایی از قبیل پهنای باند، تأخیر، گم شدن بسته و تغییرات تأخیر می‌پردازد.

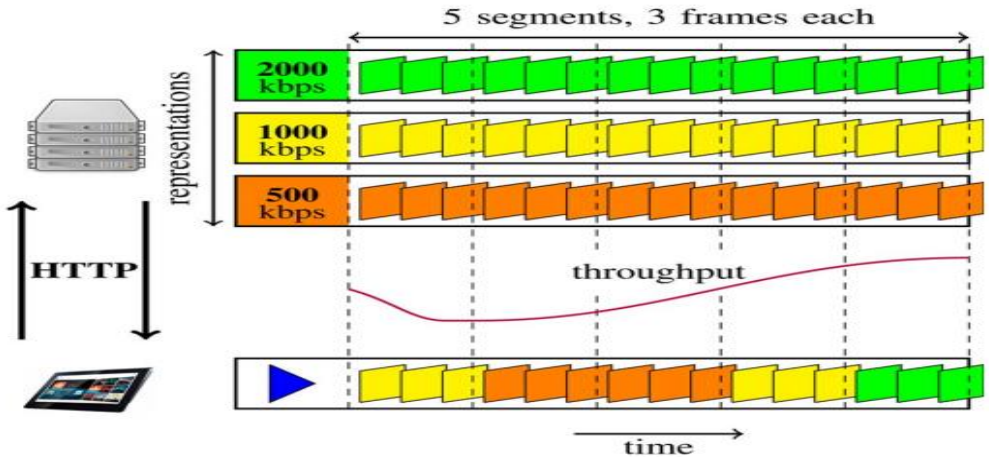
سیستم‌های تحویل محتوای اولیه تمرکز بیشتری بر روی مدیریت پارامترهای شبکه داشته‌اند، اما از این طریق موفق به تأمین نیازهای QoS کاربران در سطح لایه کاربرد نشدند. از این رو نیاز به ارائه روش‌هایی جهت افزایش رضایت کاربر از خدمات ارائه‌شده در شبکه به امری ضروری و مهم تبدیل شد و عاملی جهت رقابت بین ارائه‌دهندگان مختلف شد. جهت تضمین QoE در شبکه، روش‌های مختلفی ارائه شده که هدف همه آنها بهبود QoE در شبکه فعلی اینترنت بوده است. در ادامه این بخش، برخی از مهم‌ترین کارهای انجام شده در رابطه با بهبود QoE کاربر بررسی خواهد شد، و مزایا و معایب هر یک از روش‌های انجام شده مورد بحث، تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در ابتدا در ارتباط با استفاده از کدگذاری تطبیقی صحبت خواهد شد و سپس استفاده از بافر و حافظه نهان جهت بهبود QoE مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه به بررسی ایجاد تغییرات در پارامترهای QoS و استفاده از الگوریتم‌های مختلف مسیریابی و تخصیص منابع جهت بهبود QoE صحبت خواهد شد.

۱-۲ جریانهای ویدئویی تطبیقی[3]

محبوبیت تماشای ویدئو از طریق اینترنت منجر به تولید و توسعه طیف وسیعی از پروتکل‌های مربوط به جریانهای ویدئویی تطبیقی در اینترنت شده است. برخی شرکتها همانند مایکروسافت و اپل پروتکل‌های اختصاصی خود را معرفی کرده‌اند. در این میان گروه MPEG پروتکل "جریان تطبیقی HTTP"[4] را معرفی کرده است. جریان ویدئویی بر اساس تقاضا[5] ترکیبی از دانلود و پخش همزمان است که داده‌های ویدئویی از طریق HTTP به کاربر ارسال و در بافر برنامه ذخیره و پس از دانلود مقدار کافی از داده، ویدئو پخش میشود. این جریان از طریق TCPمنتقل میشود و بدون اختلال است اما زمانی که پیوند ارتباطی نوسان دارد مثلا در شبکه‌های best effort مثل اینترنت و یا شبکه‌های موبایلی که شرایط شبکه به‌مرور زمان به دلیل تضعیف سیگنال، تداخل و نویز با مشکلاتی (مثل گم شدن بسته, پهنای باند، تاخیر، لرزش) مواجه شده و موجب تاخیر در پخش ویدئو خواهند شد [۷].

جریان ویدئویی تطبیقی به این صورت است که در این روش، یک فایل ویدئو به قطعه‌های زمانی تقسیم می‌شود و به کیفیت‌های مختلف کدگذاری می‌گردد، سپس در سمت کاربر الگوریتم تطبیق به صورت پویا براساس معیارهایی مانند بازدهی، نرخ بافر و نوع دستگاه گیرنده میزان کیفیت ارسالی را تعیین می‌نماید. شکل زیر شیوه کار HAS در سطح شبکه را نشان می‌دهد. خدمتگزار HAS محتویات ویدئویی را در کدگذاری‌های متفاوت ایجاد کرده و در نمایندگان مختلف ذخیره می‌نماید [۸]، هر نماینده سمت خدمتگزار دارای نرخ فریم، نرخ بیت و وضوح مشخصی از ویدئو است. در سمت کاربر نیز یک وسیله جهت اندازه‌گیری شرایط شبکه بوده که در این شکل تأثیر شرایط به صورت نمودار توان نشان داده شده و براساس این شرایط نوع نماینده انتخابی برای ارسال ویدئو به کاربر تعیین می‌شود.

[1] Application-level Quality of Service
[2] Network-level Quality of Service
[3] Adaptive Video Streaming
[4] HTTP adaptive streaming (HAS)
[5] video on demand streaming (VOD)



شکل ۱. کارکرد تکنولوژی HAS در سطح شبکه

در بخش بعدی دیدگاه رده بندی عوامل تاثیرگزار بر QoE در HAS را ارائه خواهیم نمود و ابعاد مختلف مساله بررسی می‌نمائیم.

۳- دیدگاه رده بندی

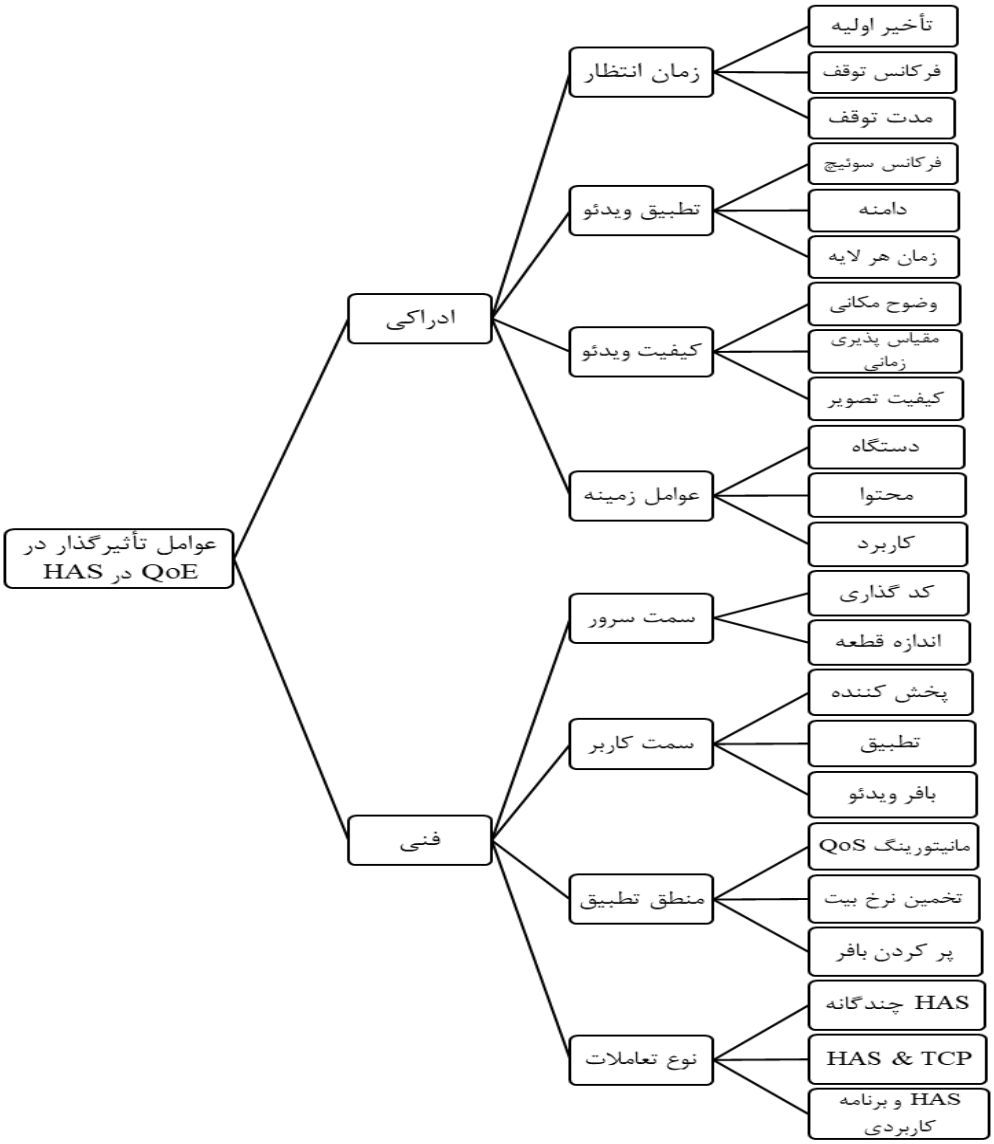
اساسا پروتکل‌های HAS منجر به بهبود QoS شده و محبوبیت آن موجب استفاده عمده آن در اینترنت شده است . انعطاف‌پذیری تکنولوژی HAS موجب اضافه شدن آن در برنامه‌های کاربردی سمت کاربر شده و به کاربر این اجازه را می‌دهد تا به صورت مستقل کیفیت مد نظر خود را برای برنامه کاربردی تعیین نماید و نیاز به تجهیزات پیچیده در سطح شبکه نباشد. در جریان‌های ویدئویی، مدت‌زمان تأخیر اولیه[1] و توقف پخش[2] عوامل تأثیرگذار بر QoE هستند[۹]. تغییر کیفیت ویدئو که در HAS به‌کار میرود بعد جدیدی از ارائه خدمات را معرفی می‌نماید. به طور کلی، عوامل تأثیرگذار در QoE به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند که در شکل ۲-۵ جزئیات مربوط به هریک نشان داده شده‌است[۱۰-۱۱] :

۱- عوامل ادراکی[3]

۲- عوامل فنی[4]

عوامل اداراکی مستقیما توسط کاربر نهایی احساس می‌شوداین عوامل به عوامل فنی وابسته ولی از آن جدا هستند. برای مثال، چندین عامل فنی موجب تأخیر اولیه دریافت می‌شوند اما کاربر نهایی تنها زمان انتظار را احساس می‌کند. بنابراین، لازم است که عوامل فنی را که بر روی عوامل ادراکی کاربر موثر هستند بررسی کنیم. در اینجا نیاز به ایجاد یک طبقه‌بندی کامل از عوامل موثر در QoE در HAS وجود دارد تا از این طریق بتوان با بررسی لحظه‌ای شرایط شبکه و اعمال دخالت کاربر در تعیین میزان QoS، با ارسال داده‌های ویدئویی در فریمها، کدگذاریها و میزان وضوح تصویر متفاوت کیفیت مناسبتری برای کاربر نهایی ایجاد شود. شکل زیر دیدگاه رده بندی عوامل تاثیرگزار بر QoE در HAS را نمایش می‌دهد:

[1] initial delay
[2] stalling
[3] perceptual
[4] technical



شکل۲. دیدگاه رده بندی عوامل تاثیرگزار بر QoE در HAS

براساس دیدگاه رده بندی پیشنهادی، در ادامه پارامترهای اصلی و تاثیرگذارHAS مطالعه خواهد شد[۱۳-۱۲].

- تأخیر اولیه[1] : به مدت زمانی که یک مقدار مشخصی از داده باید انتقال داده شود و سپس رمزگشایی و شروع به پخش شود، اشاره می‌کند. معمولاً تأخیر اولیه بعلت پر کردن بافر با حجم زیادی از ویدئو در ابتدای پخش می‌باشد. بافر پخش[2] به عنوان یک ابزار کارآمد برای مقابله با تغییرات تأخیر در کوتاه مدت است. می‌توان تأخیر اولیه را کوتاه در نظر گرفت اما تأخیر اولیه طولانی نیز قابل تحمل خواهد بود اگر کاربر قصد تماشای ویدئو را داشته باشد [۱۲].
- توقف پخش[3]: به علت خالی شدن بافر پخش و عمل بافر کردن در طول تماشای ویدئو رخ می‌دهد. اگر سرعت اجرای برنامه پخش کننده ویدئو بیشتر از نرخ انتقال ویدئو باشد ادامه پخش ویدئو ممکن نخواهد بود و پخش تا زمانی که بافر حاوی مقدار مشخصی از داده‌های ویدئویی نباشد، متوقف می‌شود. تمام خدمات ویدئویی باید تا حد امکان از توقف پخش جلوگیری کنند، زیرا حتی توقف‌های کوتاه میزان QoE را کاهش می‌دهد. از آنجائیکه جریان‌های ویدئویی HTTP سنتی[4] محدود بوده و

[1] Initial Delay
[2] playout buffer
[3] Stalling
[4] Classical HTTP video streaming (HVS)

توانایی واکنش در برابر شرایط و نوسانات مختلف شبکه و به نوعی کاهش تعداد توقف‌ها را ندارد. در مقابل جریان‌های ویدئویی HTTP پویا (HAS) قادر به تحویل محتوا در شرایط مختلف شبکه و نوسانات آن بوده و در این شیوه امکان کاهش توقف در زمان پخش وجود دارد [۱۳].

- تطبیق: تکنولوژی HAS بهبود یافته نوع کلاسیک خود یعنی HVS بوده با این تفاوت که در این شیوه با توجه به شرایط شبکه، امکان تغییر کیفیت ویدئو در طول زمان پخش وجود دارد.
- عملیات سمت سرور: در سمت سرور در HAS، چالش اصلی آماده‌سازی محتوا مانند انتخاب ارائه‌های در دسترس و رمزگذاری بهینه و همچنین انتخاب پارامترهای سیستم مانند طول قطعه کدگذاری و انتخاب الگوریتم‌های فشرده‌سازی برای محتویات صوتی-تصویری می‌باشد.
- عملیات سمت کاربر: درسمت کاربر، تصمیمات مهم شامل انتخاب قطعه برای دانلود، زمان شروع دانلود و چگونگی مدیریت بافر گیرنده اهمیت زیادی دارد. الگوریتم تطبیق باید ارائه‌های مناسب را برای دستیابی به حداکثر QoE انتخاب نماید. رایج‌ترین عامل برای تصمیم‌گیری، تخمین پهنای باند لحظه‌ای کانال و استفاده از آن برای معیار تصمیم گیری است. علاوه بر این، اندازه بهینه بافر ویدئوی گیرنده به عوامل متعددی (مثل ویژگی‌های جریان ارسالی، مشخصات شبکه، QoE مدنظر کاربر، تأخیر اولیه و احتمال نیاز به بافر مجدد) بستگی دارد. نباید تأثیر کاربر نهایی که QoE را مشاهده می‌نماید، نادیده گرفت. لذا در سمت کاربر، الگوریتم تعیین کننده اندازه بافر گیرنده/ ارائه‌های مناسب بسته/ زمان شروع دانلود باید تمامی عوامل تأثیر گذار در QoE دریافتی کاربر را در نظر بگیرد و براساس موارد فوق اقدامات خود را انجام دهد [۱۴].
- پارامترهای برنامه کاربردی و استراتژی تطبیق: پارامترهای مرتبط با استراتژی تطبیق (مانند توقف پخش و جابجایی بین ارائه‌های مختلف سمت خدمتگزار) نیز از عوامل موثر در QoE بوده و باید در کنار سایر پارامترهای مربوط به کدگذاری ویدئو (مانند وضوح[1]، نرخ فریم[2]، پارامتر کوانتیزه و نرخ بیت[3]) در نظر گرفته شوند. لذا در اندازه‌گیری QoE نیاز به دخالت عواملی مانند تراکنشهای درخواست/پاسخ در HTTP، رخداد جابجایی بین نمایندگان در سمت خدمتگزار، تأخیر اولیه، سطح بافر و حتی نوع دستگاه پخش ویدئو در سمت کاربر ضروری و مهم می‌باشد [۱۵].

با توجه به موارد گفته شده مشاهده می‌شود که کیفیت ویدئوی انطباقی تأثیر بسزایی در میزان کیفیت دریافتی سمت کاربر دارد و HVS غیرانطباقی یکی از مهم‌ترین عوامل افت QoE در سمت کاربر می‌باشد. با وجود تمامی مزایا این نوع جریانهای HAS، معایبی هم برای اینچنین رویکردهای کاملاً مشتری محور وجود دارد : اولاً عدم هماهنگی در میان مشتریان مختلف منجر به نوسانات مکرر کیفیت و تصمیم‌گیری‌های نامطلوب می‌شود. ثانیاً سیاست های مدیریت، از جمله محدودیت های اشتراک کاربر (مانند اشتراک طلائی، نقره ای و برنزی) و تضمین در تحویل محتوا قابل اجرا نخواهد بود [۱۶].

۴- کیفیت تجربه کاربر و پارامترهای شبکه

در مراجع متعدد مانند [۲۰-۱۷] به وابستگی QoE به پارامترهای شبکه تأکید شده است. در یک جمعبندی کلی، اساسا QoE در قالب پارامترهایی در سه کلاس ; شناختی[4] ، رفتاری[5] و روانشناختی[6] تقسیم شده و به پارامترهای زمینه مربوط به ابزار، کاربرد، کاربر، محیط پیرامون و پارامترهای QoS شبکه مرتبط شده‌است.

جدول ۱. رده بندی QoE و پارامترهای شبکه مرتبط

پارامترهای زمینه			QoE	
QoS	کاربر و محیط	ابزار/دستگاه/ شیئ	پارامترهای QoE	کلاس ها
پهنای باند، تاخیر، جیتر، گم شدن بسته، loss burst size	مکان، دما، زمینه اجتماعی، اطرافیان، نور، صدای اطراف	اندازه صفحه نمایش، چیدمان، وضوح، شهود کلی، جایگذاری دکمه‌ها، روشهای I/O ،جذابیت	توجه، لذت، تمرکز، رضایت، کارایی پذیرش فناوری، سرعت، دقت، سهولت درک، خلق و خوی، عاطفی	شناختی رفتاری روانی

[1] Resolution
[2] Frame rate
[3] Bit rate
[4] Cognitive
[5] Behavioural
[6] Psychological

در [۲۱] نیز به وابستگی QoE به کاربرد، مشخصات ابزار (توان پردازش، وضوح صفحه نمایش، حافظه) و پارامترهای QoS شبکه تأکید شده است. از دیدگاه این مرجع، ارزیابی کیفیت می‌تواند در سه لایه: خدمات، کاربرد و شبکه انجام شود که به ترتیب با معیارهای QoE، ApQoE و NQoS توصیف شده‌اند. همچنین مرجع[۲۲] فاکتورهای مؤثر بر QoE را شامل فاکتورهای مرتبط با کاربر(احساس، انگیزه ...)، فاکتورهای مرتبط با سیستم (مشخصات فنی) و فاکتورهای زمینه (شرایط محیطی، هزینه و ...) می‌داند. QoE از کلیه عوامل انتها به انتهای یک ارتباط متأثر است که کاربر، ترمینال ارتباطی، شبکه و خدمات را پوشش می‌دهد. این معیار از فاکتورهای فردی، ترمینال ارتباطی، مشخصات کاربرد و مشخصات محیط پیرامون تأثیر می‌پذیرد. عوامل مؤثر بر QoE و نتایج آن به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- عوامل فردی : نظیر احساسات، انتظار و تجربه‌های قبلی کاربر.
- عوامل غیر فردی : این عوامل به دو دسته عوامل فنی و عوامل غیر فنی تقسیم می‌شوند مواردی چون سطح QoS شبکه، مشخصات ترمینال و نیازهای کاربرد از عوامل فنی و مواردی چون هزینه، سادگی استفاده کاربر و ماهیت خدمات جزء عوامل غیر فنی است.

همچنین QoE از جنبه‌های مختلفی اعم از جنبه‌های فنی (رضایت کاربر از کیفیت ارتباط) ، اقتصادی (جذب مشتری و مصرف بهینه از منابع) و روانشناختی (لذت بردن از خدمات) قابل بررسی است. اساسا QoE شامل کیفیت تجربه کاربر به عنوان مصرف کننده خدمات و کیفیت تجربه کاربر به عنوان مشتری خدمات است. به منظور تفکیک کیفیت تجربه کاربر مصرف کننده خدمات از سایر جنبه‌های QoE، در این تحقیق از کیفیت دریافت کاربر[1] استفاده می‌شود. در واقع UPQ از فاکتورهای فردی و فاکتورهای فنی متأثر است و مواردی چون قیمت، لذت بخش بودن خدمات و سادگی استفاده از خدمات را شامل نمی‌شود. از دیگر اصطلاحات مشابه در ادبیات موضوع می‌توان به کیفیت ادراک اشاره کرد. این اصلاحات در ادبیات موضوع برای محتوای چندرسانه ای بکاربرده شده‌اند. UPQ بیش از همه به سطح QoS وابسته است. البته رضایت کاربر علاوه بر QoS به مفاهیم دیگری چون سطح خدمات و کیفیت تاب‌آوری نیز وابسته است. GoS با فاکتورهایی چون احتمال قطع ارتباط فعال و QoR با احتمال در دسترس بودن خدمات مرتبط است[۲۳].

فراهم‌کردن کیفیت ارتباط در شبکه‌های کامپیوتری یک فرآیند پایین به بالا است، یعنی بهینه سازی عملکرد در لایه‌های پایین‌تر به بهبود QoSو نهایتاً بهبود QoE منجر می‌شود. اما باید توجه شود که سطح UPQ به صورت غیرمستقیم به عملکرد لایه‌های مختلف وابسته است و پارامترهای QoS مستقیماً به UPQ قابل ترجمه نیست. در شبکه‌های بی‌سیم به دلیل پیچیدگی و تنوع پارامترهای مرتبط با QoS، نگاشت دقیق میان UPQ و میزان کارآمدی شبکه قابل تحقق نیست. یکی از عوامل مهم در تأمین QoE در شبکه‌های ناهمگن، استفاده بهینه از منابع می‌باشد. از آنجایی که QoE به مؤلفه‌های مختلفی از جمله کاربر، کاربرد، و ابزار ارتباطی وابسته است، توجه به کلیه این مؤلفه‌ها گام مؤثری در بهبود QoE بشمار می‌رود. از نوآوری‌های این تحقیق، ارائه رویکردی جهت رده بندی پارامترها و عوامل تاثیرگزار بر QoE درجهت برای استفاده بهینه از منابع شبکه و برآورده ساختن نیازهای کاربران با توجه به سه مؤلفه فوق می‌باشد.

۵- ارزیابی QoE

مطالعات بسیاری برای ارزیابی QoE در زمینه صدا و ویدئو انجام شده است. می‌توان روش‌های موجود برای ارزیابی QoE را در دو دسته کلی قرار داد [۲۵-۲۴]:

۱. ارزیابی کیفی: که برمبنای معیاری موسوم به MOS[2] بنا شده است. این معیار توسط سازمان ITU-T معرفی و نحوه ارزیابی آن برای ترافیک صوتی در استاندارد P.800 و برای ترافیک ویدئو در استاندارد P.910 ارائه گردیده است. برای تعیین MOS، تعدادی شنونده یا بیننده کیفیت محتوای چندرسانه ای را پس از عبور از سیستم ارتباطی، امتیاز دهی می‌کنند که میانگین حسابی امتیاز ارائه شده توسط این افراد، با عددی بین ۱ (بدترین) تا ۵ (بهترین) بیان می‌شود.

۲. روش های ارزیابی کمی (عینی): که سعی در ارائه تخمینی از میزان QoE به روش ارزیابی کیفی دارند. استانداردهای ارائه شده توسط ITU-T برای ارزیابی کمی صدا و ویدئو می‌توان به PSQM[3] ، PESQ[4] و E-Model برای ارزیابی صوت و استاندارد VQM[5] برای ارزیابی ویدئو اشاره کرد. البته اخیراً استانداردهای جدیدی مانند J.246 و J.247 نیز برای ارزیابی کمی QoE توسط این مؤسسه ارائه شده‌است.

روش‌های ارزیابی کیفی QoE را می توان به سه دسته زیر تقسیم نمود:

۱. ارزیابی نیازمند مرجع (FR[6])
۲. ارزیابی با دانستن اطلاعاتی در مورد مرجع (RR[7])
۳. ارزیابی بدون مرجع (RF - NR[8])

روش‌های نیازمند مرجع به محتوای قبل از ارسال نیاز دارند تا بتوانند QoE را برای محتوای دریافتی محاسبه نمایند. این روش‌ها معمولاً محتوای دریافت شده را با محتوای اولیه مقایسه می‌کنند تا براساس تفاوت‌های آنها، مقدار افت کیفیت دریافتی را ارزیابی نمایند. در مقابل،

[1] User Perceived Quality(UPQ)
[2] Mean Opinion Score
[3] Perceptual Speech Quality Metric
[4] Perceptual Evaluation of Speech Quality
[5] Video Quality Measure
[6] Full Reference
[7] Reduced Reference
[8] Reference Free or no-Reference

روش‌های بدون مرجع، بدون نیاز به اصل محتوا اقدام به تحلیل محتوا و تشخیص تخریب‌های صورت گرفته می‌نمایند. در میان این دو دسته، روش‌هایی قرار دارند که با دانستن اطلاعات و مشخصاتی از محتوای اولیه می‌توانند QoE را برای محتوای دریافت شده ارزیابی نمایند. اگرچه روش‌های نیازمند مرجع (مانند استاندارد J.247 برای ویدئو و یا P.563 برای صدا) دقت بیشتری در ارزیابی QoE دارند، اما نیاز به محتوای مرجع و تطبیق با آن باعث می‌شود تا برای کاربردهای بلادرنگ قابل استفاده نباشند. درنتیجه، استفاده از این روش‌ها برای این تحقیق مناسب نمی‌باشد. این روش‌ها عمدتاً برای ارزیابی سیستم‌های ارتباطی قبل از قرار دادن آنها در مدار، یا برای کاربردهای آزمایشگاهی و شبیه‌سازی‌ها استفاده می‌شود که حضور کاربر و ارزیابی کمی به صرفه یا ممکن نیست و از طرفی محدودیت زمانی هم وجود ندارد.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، ضمن بررسی چالش‌ها و راهکارهای بهبود کیفیت تجربه کاربر (QoE) در خدمات ویدیویی تحت شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار، یک مدل چندمنظوره و دیدگاه رده‌بندی نوین برای ارزیابی ابعاد مختلف این مسأله ارائه شد .استفاده از چنین رویکردهایی به تخصیص بهینه منابع و مدیریت کارآمد شبکه کمک می‌کند و موجب بهبود کیفیت نهایی تجربه کاربر، بهینه‌سازی جریان‌های ویدئویی، کاهش تأخیر و افزایش بهره‌وری شبکه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مدیریت چندبعدی منابع و توجه همزمان به عوامل فنی و ادراکی درQoE ، می‌تواند رضایت کاربران را افزایش داده و هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهد .همچنین، ارائه‌دهندگان خدمات می‌توانند با بهره‌گیری از این چارچوب، خدماتی پایدارتر و متناسب‌تر با نیازهای کاربران ارائه دهند و در بازار رقابتی حاضر جامع‌تر و موفق‌تر ظاهر شوند. راهکارهای آتی پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

۱ .توسعه مدل‌های یادگیری عمیق و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی بهتر QoE کاربران بر اساس داده‌های لحظه‌ای و تحلیل رفتار کاربر.

۲ .بهبود الگوریتم‌های تطبیق کیفیت در جریان‌های ویدئویی برای تغییر پویا و سریع در پاسخ به نوسانات کیفیت شبکه و نیازهای کاربر.

3.استفاده از فناوری‌های جدید مانند شبکه‌های ۵ Gو لبه‌پردازی (Edge Computing) برای کاهش تأخیر و افزایش کیفیت تجربه در محیط‌های توزیع‌شده.

۴ .طراحی سیستم‌های مدیریت منابع شبکه که بتوانند به صورت خودکار و با تمرکز برQoE ، تخصیص بهینه منابع را انجام دهند.

۵ .بهبود مدل‌های چندمعیاره QoE با توجه به ابعاد روانشناختی، رفتاری و اجتماعی کاربران برای درک عمیق‌تر از نیازها و انتظارات واقعی.

۶ .ایجاد استانداردهای بین‌المللی دقیق‌تر و جامع‌تر برای ارزیابی QoEدر زمینه خدمات ویدئویی و جریان‌های چندرسانه‌ای.

۷ .پژوهش‌های میدانی گسترده‌تر برای اعتبارسنجی مدل‌های پیشنهادی و بررسی اثرات اجرای آنها در محیط‌های عملی و واقعی شبکه.

۸ .توجه به مسایل امنیتی و حریم خصوصی در بهبود QoE به ویژه در انتقال داده‌های چندرسانه‌ای در شبکه‌های توزیع‌شده.

اجرای این راهکارها می‌تواند به طور قابل توجهی تجربه نهایی کاربر را بهبود بخشد و به افزایش رضایت، وفاداری و تعامل کاربران با خدمات ویدئویی منجر شود .همچنین موجب افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های عملیاتی ارائه‌دهندگان خدمات و افزایش قابلیت رقابت در بازار می‌گردد. این پژوهش می‌تواند بستر مناسبی برای تحقیقات آتی در حوزه بهبود QoE در شبکه‌های نرم‌افزارمحور و خدمات ویدئویی باشد و به توسعه دانش و فناوری در این زمینه کمک نماید.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع:

[1] Duanmu Z, Rehman A, Zeng K, Wang Z. Quality-of-experience prediction for streaming video. IEEE Trans Multimedia. 2024;26(3):715-727.

[2] Zhu Z, Sun W, Jia J, Wu W, Deng S, Li K, et al. Subjective and objective quality-of-experience evaluation study for live video streaming. arXiv preprint arXiv:2409.17596. 2024 Sep 25.

[3] Peroni L, et al. Quality of Experience in Video Streaming: Status Quo, Pitfalls and Guidelines. In: COMSNETS 2024; 2024 Jan; IEEE; 2024. p. 1-10.

[4] Bułat J, et al. Daily Video: A tool for quality of experience (QoE) in long-term studies. Comput Networks. 2024;230:109784.

[5] Zhai G, Min X, Wang J, Chen Y. An enhanced QoE prediction in video streaming using ITU-T standards and machine learning. Multimedia Tools Appl. 2023;82(10):15097-15117.

[6] Li Y, Huang T, Wang J. Adaptive bitrate streaming and QoE optimization: A survey. IEEE Commun Surv Tutor. 2023;25(1):97-114.

[7] Le Callet P, Möller S, Perkis A. Qualinet white paper on definitions of quality of experience. European network on quality of experience in multimedia systems and services (COST Action IC 1003). 2013.

[8] Shaikh A, Zinner T. QoE management for HTTP adaptive streaming systems. IEEE Commun Mag. 2022;60(2):40-46.

[9] Mok RKH, Chan EK, Salamatian K, Karam M. Quality of experience for adaptive video streaming: Survey and challenges. IEEE Network. 2022;36(1):62-68.

[10] Menkovski V, Machulla T, Hossfeld T. A model for QoE-centric adaptive streaming optimization. In: Proc. ACM MMSys; 2021. p. 11-20.

[11] Wang Y, Zheng H, Guo L. QoE-aware bandwidth allocation for video streaming: A survey. IEEE Access. 2023;11:73420-73435.

[12] Ozcinar H, Ozcan HA. Evaluation of video streaming quality of experience models: A survey. IEEE Access. 2022;10:51318-51336.

[13] Seufert M, Egger S, Slanina M, Zinner T, Reichl P, Tran-Gia P. A survey on quality of experience of HTTP adaptive streaming. IEEE Commun Surv Tutor. 2015;17(1):469-492.

[14] Zinner T, Seufert M, Slanina M, Egger S. From quality of service to quality of experience—A measurement methodology for HTTP adaptive streaming. In: IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management; 2015. p. 494-501.

[15] Mok RKH, Chan EK, Salamatian K, Karam M. Stochastic video quality models and their applications. IEEE Trans Multimedia. 2017;19(7):1664-1677.

[16] Tian B, Das S. Modeling and fine-tuning video streaming QoE using machine learning. Comput Commun. 2020;150:136-148.

[17] Martinez O, Perez C, Ramos H. QoE optimization strategies for multi-layer video streaming over wireless networks. IEEE Trans Netw Serv Manag. 2021;18(1):65-78.

[18] Rossi D, Sbarrato A, Contoli C, D'Andrea E, Lancellotti F. User-centric adaptive video streaming: A QoE-driven approach. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol. 2022;32(1):209-222.

[19] Gálvez MA, Calce FJ, Jiménez LO. Video compression and quality of experience: Trade-offs and adaptation. IEEE Commun Mag. 2020;58(12):46-51.

[20] Acar A, Gursoy M. QoE-aware adaptive video streaming with deep reinforcement learning. IEEE Trans Multimedia. 2023;25(2):407-421.

[21] Yang Z, Huang T, Hu J, Yang S. QoE prediction for live video streaming using deep neural networks. J Netw Comput Appl. 2024;199:103311.

[22] Fernández I, García P, Hamida EB. End-to-end QoE management for video streaming service. Comput Commun. 2021;166:43-53.

[23] Ozcinar H, Turksever C. Buffer stalling and bitrate adaptation effect on video streaming QoE. IEEE Trans Broadcast. 2023;69(1):875-884.

[24] Chen Z, Li Y, Huang T, Wang J. Visual quality assessment in video streaming: A survey. IEEE Access. 2023;11:18279-18304.

[25] Zhai G, Min X, Wang J. Cognitive influence in video streaming QoE: A cognitive QoE model. IEEE Trans Multimedia. 2023;25(5):1043-1056