

یک روش نوین ترکیبی هوشمندانه مبادله جریان زنده ویدئویی در شبکه‌های نظیر به نظیر توری

نغمه فرهادیان، بهرنگ برکتین، مجید هارونی و بهزاد سلیمانی نیسیانی

جریان‌های زنده ویدئویی مانند پخش برنامه ورزشی زنده، مکالمه‌های تصویری و از این قبیل باعث شده تا متخصصین این حوزه به ارائه راهکارهایی در خصوص افزایش کیفیت ویدئوی دریافتی در نظیرها بپردازند. در تمامی راه‌حل‌هایی که برای ارسال جریان ویدئویی به صورت زنده پیشنهاد شده است، المان مقیاس‌پذیری دارای اهمیت فراوانی است. اتصال یک مشتری با سرور و آغاز یک جریان ویدئویی با کیفیت خوب و پهنای باند بالا، یک جلسه ویدئو نامیده می‌شود. بر اساس تحقیقات گذشته، برای مبادله جریان ویدئوی زنده با کیفیت بالا در یک جلسه ویدئویی، نیاز به تحقق سه موضوع اساسی شامل: انتخاب ساختار مناسب کدینگ ویدئو، انتخاب یک بستر کارآمد برای اتصال کاربران به یکدیگر و وجود یک الگوریتم مناسب برای مبادله فریم‌های ویدئو بین کاربران در زمان قابل قبول می‌باشد. در ادامه به بررسی این سه موضوع می‌پردازیم.

۱-۱ انتخاب ساختار مناسب کدینگ ویدئو

تحقیقات اخیر نشان داده که استاندارد H.264/AVC [۸] و نسخه‌های بعدی آن (مانند HEVC)، با بخش‌بندی یک فیلم ویدئویی به تعدادی فریم در قالب یک GoP^۱ یا ۱۶ فریمی، می‌تواند نه تنها در کاهش پهنای باند مصرفی مؤثر باشد، بلکه باعث افزایش کیفیت ویدئوی دریافتی در دریافت‌کننده‌ها شود. ولی با توجه به وابستگی بین فریم‌ها در GoP دریافتی، کیفیت ویدئوی دریافتی به سادگی تحت تأثیر تأخیر دریافت فریم‌ها قرار می‌گیرد. برای مثال عدم دریافت فریم مرجع I می‌تواند باعث عدم نمایش کل آن GoP گردد. به همین دلیل، نیاز به وجود یک بستر ارتباطی مطمئن که بتواند فریم‌ها را در کمترین زمان ممکن و با حداقل تأخیر و استفاده از منابع به کاربران برساند، جزء لاینفک یک سیستم جریان‌سازی ویدئوی زنده است.

۱-۲ انتخاب یک بستر کارآمد برای اتصال کاربران به یکدیگر

پخش زنده از جمله مسابقات ورزشی و مصاحبه‌های تلویزیونی، مستلزم بستری مناسب برای انتقال فریم‌های ویدئوی مورد نیاز گیرنده‌ها با کیفیت تصویری مناسب است [۹] و [۱۰]. تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که ساختارهای معمول بین گره‌ها مانند سرویس‌دهنده-سرویس‌گیرنده و شبکه‌های تحویل محتوا، دارای نقاط ضعف آشکاری در برقراری ارتباط کم‌هزینه و کارا بین کاربران هستند. اگرچه پیاده‌سازی یک ساختار سرویس‌گیرنده-سرویس‌دهنده [۱۱] هزینه و زمان زیادی نمی‌خواهد، مقیاس‌ناپذیری، نیاز به منابع زیاد و پرهزینه در صورت افزایش تعداد

چکیده: فقدان یک روش کارا برای مبادله فریم‌ها به علت تأخیر زیاد در روش Pull و تعداد بالای فریم‌های تکراری در روش Push، به عنوان دو روش اصلی مبادله محتوا بین نظیرها، انگیزه‌ای قوی جهت معرفی روش‌های ترکیبی مبتنی بر این دو روش پایه جهت مبادله جریان زنده ویدئویی در شبکه‌های نظیر به نظیر توری بوده است. تحقیقات نشان داده که این روش‌ها از مشکلات ذاتی دو روش پایه رنج می‌برند، زیرا تنها تجمیعی ساده از اجرای متوالی یا موازی آنها هستند. این پژوهش به معرفی AMIN، یک روش نوین ترکیبی برای مبادله هوشمندانه فریم‌های ویدئو بین نظیرها می‌پردازد. در روش AMIN، بر خلاف روش Pull، هر نظیر نقشه وضعیت حافظه (BMS) خود را به صورت دوره‌ای به نظیرهایی تا حداکثر دو گام از خود می‌فرستد و نظیر دریافت‌کننده BMS به جای درخواست فریم از فرستنده BMS، بررسی می‌نماید خود چه فریم‌هایی را می‌تواند به سمت این نظیر ارسال نماید. همچنین بر خلاف روش Push، نظیر ارسال‌کننده فریم به دلیل وجود BMS دریافتی از همسایه خود، ارسالی کورکورانه به آن نخواهد داشت. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده افزایش قابل ملاحظه کیفیت ویدئوی دریافتی در نظیرها، کاهش تأخیر نقطه به نقطه، تأخیر دریافت و تعداد فریم‌های تکراری نسبت به دو روش پایه و مشابه اخیر است.

کلیدواژه: جریان زنده ویدئویی، شبکه نظیر به نظیر توری، Push.

۱- مقدمه

ترافیک ویدئوی زنده در سال‌های اخیر به عنوان یکی از جذاب‌ترین انواع ترافیک روی بستر اینترنت مطرح بوده و هم‌اکنون در بسیاری از شبکه‌های اجتماعی مطرح می‌باشد. در این راستا، شبکه‌های نظیر به نظیر (P2P) [۱] نیز به عنوان بستری مناسب جهت مبادله این نوع ترافیک روی اینترنت [۲] تا [۴] و شبکه‌های بی‌سیم [۵] و [۶] مطرح شده‌اند. بنابراین در سال‌های اخیر اهمیت و ضرورت استفاده از روش‌های کارآمد برای مبادله جریان‌های زنده ویدئویی بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۷]. علاقه وافر کاربران اینترنت بالاخص گوشی‌های هوشمند به مبادله

این مقاله در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ دریافت و در تاریخ ۱۱ آبان ماه ۱۳۹۹ بازنگری شد.
نغمه فرهادیان، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد دولت‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، (email: naghmehfarhadian@yahoo.com).
بهرنگ برکتین، دانشکده مهندسی کامپیوتر، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، (email: behrang_barekatin@iaun.ac.ir).
مجید هارونی، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد دولت‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، (email: majid.harouni@gmail.com).
بهزاد سلیمانی نیسیانی، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد خوراسگان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، (email: b.soleimani@khuisf.ac.ir).

انتخاب نظیر بعدی، تأخیر در این الگوریتم بسیار کم و مطلوب ارسال جریان‌های زنده ویدئویی است، اما به دلیل وجود مسئله اتصال و ترک (Churning) متناوب شبکه توسط نظیرها، امکان افراز درخت به چند زیردرخت وجود دارد. این مشکل نه تنها می‌تواند باعث افت شدید کیفیت ویدئوی دریافتی شود، بلکه هزینه بالایی را برای اتصال مجدد درخت‌های افراز شده به یکدیگر به شبکه تحمیل می‌کند. همچنین می‌تواند باعث بروز مشکل عدم سازگاری در زمان پخش جریان زنده ویدئو بین نظیرهایی که از دو زیردرخت مجزا به یکدیگر متصل شده‌اند، شود [۲۰]. از دیگر مشکلات این نوع روش ارسال، افزایش تأخیر دریافت در نظیرهای فرزند در صورت افزایش تعداد آنها است. به عبارتی، پهنای باند محدود نظیر پدر باید بین تعداد بیشتری نظیر فرزند تقسیم شود که این باعث افزایش تأخیر دریافت فریم‌ها در فرزندان خواهد شد. مزیت اصلی Push، کاهش پیچیدگی بررسی درخواست کاربر می‌باشد، حال آن که مدت زمان مورد نیاز برای بارگذاری کل فایل ممکن است در برخی موارد بسیار زیاد شود. همچنین، درگیر شدن یک سرور برای پاسخگویی به مدت زیاد، ممکن است سبب عدم پاسخگویی به سایر درخواست‌ها گردد [۹] و [۲۳]. بر خلاف ساختار درختی، بروز Churning در ساختار توری مشکل چندان را ایجاد نمی‌کند، زیرا هر نظیر توسط چندین همسایه به گراف شبکه متصل است. به همین دلیل، اکثر شبکه‌های نظیر به نظیر پیاده‌سازی شده از ساختار توری استفاده می‌نمایند [۷] و [۱۵]. اما نکته قابل توجه در ساختار توری این است که در صورت استفاده از الگوریتم Push برای مبادله اطلاعات، تعداد فریم‌هایی تکراری در نزد هر نظیر به شدت افزایش می‌یابد. دلیل این امر واضح است. هر نظیر از همه نظیرهای همسایه‌اش قابلیت دریافت جریان ویدئو را دارد. همچنین، استفاده از الگوریتم Push در ساختار توری باعث استفاده غیر بهینه از پهنای باند آپلود محدود نظیرها خواهد شد. به همین جهت، در ساختار توری از الگوریتم واکشی^۳ برای مبادله اطلاعات استفاده می‌شود. در الگوریتم Pull، مصرف‌کننده بر اساس تقاضای مشخص خود، به محتوای فایل دسترسی دارد. مزیت این الگوریتم، احتمال بالای همپوشانی میان درخواست‌های کاربران برای دریافت فریم می‌باشد [۷] و [۲۳]. در واقع در این الگوریتم، هر نظیر وضعیت نقشه حافظه^۴ (BMS) خود را در خصوص وجود یا عدم وجود فریم‌ها در آن، به همسایگانش ارسال می‌کند. هر نظیر همسایه، پس از بررسی و مقایسه BMS ارسالی با وضعیت حافظه خود، درخواست ارسال آن فریم‌هایی را که در حافظه خودش وجود ندارد به ارسال‌کننده BMS می‌دهد. آن نظیر هم به نوبت درخواست‌های رسیده از همسایگانش را پاسخ داده و فریم‌های درخواستی آنها را ارسال می‌نماید. برخلاف روش پیشنهادی این مقاله، Pull یک روش سه‌مرحله‌ای است. هرچند استفاده از الگوریتم Pull باعث کاهش شدید فریم‌های تکراری خواهد شد، ولی افزایش تأخیر دریافت را به دلیل همین سه‌مرحله‌ای بودن و بحث وابستگی بین فریم‌ها به دنبال دارد که این خود برای کیفیت یک جریان زنده ویدئویی بسیار مشکل‌ساز می‌باشد. به علاوه این تأخیر می‌تواند به طرز چشم‌گیری در اتلاف پهنای باند مصرفی تأثیرگذار باشد، زیرا برای مثال یک نظیر به دلیل دیررسیدن یک فریم و وابستگی بین آنها، نمی‌تواند آن را حتی در صورت سالم‌رسیدن در فرایند بازپخش^۵ خود قرار دهد.

تقاضا، هدررفت منابع در صورت عدم وجود تقاضا و افزایش چشم‌گیر تأخیر برای کاربران راه دور، از جمله معایبی هستند که استفاده از این نوع شبکه‌ها را برای جریان‌سازی ویدئوی زنده کم‌رنگ می‌کند. نمونه توسعه‌یافته مدل سرویس‌گیرنده- سرویس‌دهنده، شبکه‌های تحویل محتوا^۱ (CDN) [۱۲] هستند. سرور منبع ویدئویی، ابتدا محتوای ویدئو را ذخیره می‌کند و سپس تعدادی سرور ارسال محتوا با سیاستی از قبل تعیین شده، در شبکه قرار می‌گیرند. از این به بعد مشتری‌ها به جای دانلود ویدئو از سرور منبع ویدئو، به سرورهای دیگر ارجاع داده می‌شوند. اگرچه مدل CDN به طور نسبتاً مناسبی تأخیر زمان دریافت فریم در گیرنده‌ها را کم می‌کند و باعث کاهش ترافیک روی شبکه می‌شود، ولی از دو مشکل اساسی رنج می‌برد. اول این که همسان‌سازی سرورهای مختلف که در لبه شبکه قرار گرفته‌اند، یک فرایند پیچیده و پرهزینه است. همچنین ساختار سرویس‌گیرنده- سرویس‌دهنده در نهایت از بین نرفته و کاربران به همین طریق از سرور منتخب خود اطلاعات را دریافت خواهند کرد [۱۳]. بر خلاف دو مدل فوق، مدل نظیر به نظیر، یک فرایند تقسیم کار میان مشتری و سرور به تناسب توانایی آنها را دنبال می‌کند. در یک شبکه نظیر به نظیر، یک گره نه تنها داده‌هایی را از اینترنت یا نظیرهای مجاور دانلود می‌نماید، بلکه داده‌های دانلود شده را برای کاربران دیگر نیز بارگذاری می‌کند [۱۴]. به عبارتی، شبکه‌های نظیر به نظیر به عنوان راه حلی کارا برای جریان‌سازی ویدئو مطرح شده‌اند [۷] و [۱۵] تا [۱۸]. رویکرد متفاوت این شبکه‌ها در برخورد با ترافیک موجود و نیز تقسیم حجم پردازش مربوط به ارسال داده، سبب استفاده روزافزون از این تکنولوژی شده است. در یک شبکه نظیر به نظیر، نظیرها به دو صورت درختی یا توری^۲ به یکدیگر متصل شده و به مبادله اطلاعات می‌پردازند [۱۹]. در واقع هر نظیر نقش دریافت‌کننده، ارسال‌کننده و مسیریاب را به عهده دارد. تحقیقات اخیر نشان داده‌اند ساختار توری مناسب مبادله جریان ویدئوی زنده بوده و مشکل وابستگی بین فریم‌ها را تا حدی رفع می‌کند، ولی مشکلی که در این نوع شبکه وجود دارد تأخیر مبادله اطلاعات می‌باشد که عامل بسیار مهم در کاهش کیفیت جریان ویدئو است. اما سؤال آخری که قابل طرح می‌باشد این است که آیا داشتن یک ساختار مناسب فریم‌بندی و بستر شبکه، به تنهایی برای فراهم‌آوردن کیفیت بالای ویدئو کافی است؟ در بخش بعدی به بررسی پاسخ این سؤال می‌پردازیم.

۱-۳ الگوریتم مناسب مبادله فریم‌های ویدئو

بین کاربران

در کنار داشتن روش فشرده‌سازی و بستر مناسب، وجود یک روش بهینه مبادله اطلاعات در جریان‌سازی ویدئوی زنده از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۵] و [۲۰] تا [۲۲]. نظیرها باید فریم‌ها را در موعد مقرر دریافت نمایند، وگرنه حتی دریافت سالم آنها سودی به همراه نداشته و فریم قابل پخش نخواهد بود. دو روش پایه و اصلی برای مبادله فریم‌ها در شبکه‌های نظیر به نظیر وجود دارد. در روش اول، نظیرها در یک ساختار درختی اطلاعات را از نظیر پدر خود دریافت و بلافاصله بدون در نظر گرفتن وضعیت حافظه فرزند، فریم را به سمت آن ارسال می‌کنند (الگوریتم Push). به کارگیری این تکنیک ارسال در یک ساختار درختی، به دلیل عدم وجود حلقه، باعث بروز مشکل دریافت فریم‌های تکراری نخواهد شد. همچنین هرچند با توجه به عدم نیاز به تصمیم‌گیری برای

3. Pull

4. Buffer Map Status

5. Playback

1. Content Delivery Network

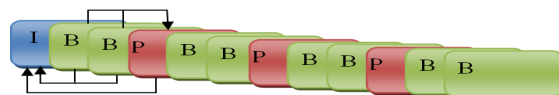
2. Mesh

فریم I که به عنوان فریم مرجع مطرح و مهم‌ترین فریم در هر GOP می‌باشد، معمولاً دارای بیشترین حجم اطلاعات است. این فریم بدون نیاز به سایر فریم‌ها در هر گیرنده قابل بازگشایی و بازپخش شدن می‌باشد. فریم P دومین فریم مهمی است که بازگشایی شدن آن وابسته به دریافت صحیح فریم‌های P یا I قبلی می‌باشد. فریم‌های B در صورتی که قابل پخش شدن هستند که فریم‌های I/P قبل یا بعد از آنها به درستی دریافت و بازگشایی شده باشند. به این رابطه‌ها، وابستگی فریم می‌گویند. به طور خلاصه، یک گیرنده در صورت دریافت فریم I می‌تواند کل GOP را پخش کند، ولی با دریافت فریم‌های P و B کیفیت ویدئوی دریافتی افزایش خواهد یافت [۸] و [۲۴]. بدین صورت فرستنده قادر خواهد بود تا حداقل کیفیت ویدئوی مورد نظر گیرنده‌ها را تا حدی تأمین نماید. در اینجا تحقق دو خواسته مهم است. اول رسیدن همین فریم I که مستلزم داشتن بستری مناسب در بین دریافت‌کنندگان است و دوم این که کاربران دریافت‌کننده جریان ویدئو، به این کیفیت راضی نخواهند بود. این یعنی سایر فریم‌های GOP نیز باید در زمان مقتضی (قبل از بازپخش) به گیرنده برسند. بنابراین در کنار داشتن یک روش مناسب فریم‌بندی و فشرده‌سازی تصاویر، نیاز به بستر و روش مبادله کارآمد بین دریافت‌کنندگان نیز وجود دارد.

۳- تحقیقات مرتبط

همان گونه که عنوان شد، برای داشتن کیفیت مناسب و بالای ویدئو در گیرنده‌ها، نیاز به تحقق ۳ نیاز اصلی است. بر اساس مباحث گفته‌شده، نیازهای اول و دوم توسط روش‌های مناسب فشرده‌سازی و کدگذاری فریم‌ها و همچنین بسترهای نظیر به نظیر توری شکل تا حد زیادی فراهم شده است. ولی در کنار این دو مورد، نیاز به داشتن یک الگوریتم مؤثر مبادله محتوا بسیار ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل محققان مختلفی تلاش کرده‌اند تا در این زمینه راه‌حل‌های متفاوتی را مبتنی بر دو روش پایه Pull و Push ارائه دهند که در این بخش از مقاله به بررسی کارهای انجام‌شده در این حوزه می‌پردازیم. در ادامه به بررسی مشکلات روش‌های پایه Pull و Push می‌پردازیم [۷]، [۱۵] و [۲۰].

استفاده از الگوریتم Push در شبکه‌های توری نظیر به نظیر، باعث افزایش بسیار زیاد فریم‌های تکراری در هر نظیر می‌شود. این مشکل، پهنای باند محدود و ارزشمند نظیرها را چه در بخش آپلود فرستنده و چه در بخش دانلود گیرنده، هدر می‌دهد. الگوریتم Push تنها در ساختار درختی مقدار تأخیر نقطه به نقطه را کاهش می‌دهد. ولی همان گونه که ذکر شد، ساختار درختی به دلیل عدم مشارکت نظیرهای برگ در مبادله اطلاعات و آسیب‌های ناشی از افراز درخت بر اثر Churn، مناسب ارسال محتواهای حساس به تأخیر مانند ویدئو نمی‌باشد. استفاده از روش Push در ساختار توری نیز باعث افزایش شدید تأخیر نقطه به نقطه به دلیل پرسیدن پهنای باند از فریم‌های تکراری شده و اگر پهنای باند بین فرزند و پدر کم باشد، کیفیت ویدئو در گره‌های سطح پایین‌تر به شدت کاهش خواهد یافت. استفاده از الگوریتم Pull در ساختار توری باعث افزایش قابل توجه میزان تأخیر نقطه به نقطه می‌شود و نیاز به حافظه‌های حجیم جهت نگهداری بسته‌های خارج از ترتیب دریافت‌شده دارد. این مشکل برای ترافیک‌های حساس به تأخیر مانند ویدئوی زنده به هیچ وجه مناسب نیست. بر این اساس، محققان تلاش کرده‌اند روش‌های ترکیبی جدید مبتنی بر این دو روش پایه ارائه کنند که آنها را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:



شکل ۱: یک GOP ۱۲ فریمی شامل دو فریم B در بین فریم‌های I و P.

اگرچه تحقیقات اخیر تلاش داشته‌اند تا با ترکیب این دو روش پایه تأثیرات منفی هر یک را در شبکه‌های توری کاهش دهند، ولی به دلیل این که رفتار الگوریتم‌های پیشنهادشده در واقع تجمیعی ساده از دو الگوریتم پایه Push و Pull بوده است، همچنان مشکلات ذاتی ناشی از آنها در الگوریتم‌های ترکیبی پیشنهادشده وجود دارند. در مجموع، نظر به این که فشرده‌سازی جریان ویدئو و استفاده از ساختار توری برای مبادله جریان زنده ویدئویی مناسب به نظر می‌رسند، این تحقیق برای محقق شدن بهتر خواسته سوم، به ارائه یک روش نوین ترکیبی مبتنی بر دو الگوریتم پایه Push و Pull با در نظر گرفتن مزایای آنها پرداخته و تلاش دارد معایب آنها را در قالب یک ترکیب نوین هوشمندانه (نه تجمیع) رفع کند و کیفیت ویدئوی مناسبی را برای نظیرها در یک شبکه نظیر به نظیر توری غیر ساخت‌یافته^۱ فراهم آورد. در روش پیشنهادی (AMIN)، نه تنها فریم‌های تکراری ناشی از ارسال کورکورانه اطلاعات بین نظیرها در روش Push وجود ندارد، بلکه با کاهش مبادله سه‌مرحله‌ای روش Pull به دو مرحله، شاهد کاهش تأخیر مبادله فریم‌ها و در نتیجه به موقع رسیدن آنها در گیرنده‌ها هستیم. نتایج حاصل از الگوریتم این روش، افزایش کیفیت ویدئوی دریافتی ضمن حفظ یا کاهش هم‌زمان تأخیر دریافت، تأخیر نقطه به نقطه و همچنین تعداد فریم‌های تکراری مبادله‌شده بین نظیرها، نسبت به سایر روش‌ها است.

ساختار این مقاله در ادامه بدین صورت است: در بخش ۲ در خصوص روش فشرده‌سازی ویدئوی استاندارد H.۲۶۴ مختصری بیان خواهد شد. سپس کارهای مرتبط و روش پیشنهادی به ترتیب در بخش‌های ۳ و ۴ بیان خواهند شد. شبیه‌سازی روش در بخش ۵ آمده و مقاله در بخش ۶ نتیجه‌گیری می‌شود.

۲- استاندارد فشرده‌سازی H.۲۶۴

اوایل دهه ۱۹۹۰ و با پیشرفت اینترنت و همگانی‌شدن آن، انتقال ویدئو در شبکه‌های مبتنی بر سوئیچ، مورد توجه کاربران قرار گرفت. اما با توجه به این که سرویس‌های شبکه اینترنت که اصطلاحاً سرویس بهترین حالت اطلاق می‌شود، تضمینی در مورد پهنای باند، تأخیر شبکه و نرخ خطا ندارند و مقادیر این پارامترها در این سرویس متغیر، پویا و نامشخص است، مشکلات زیادی در این حوزه وجود دارد. روش سنتی ارسال ۲۴ یا ۳۰ تصویر از یک صحنه و پخش آنها در یک ثانیه جهت ایجاد نمایش ویدئو از آن صحنه، به دلیل بالابودن حجم فریم‌های ویدئو در چنین حالتی منسوخ شده است. تحقیقات اخیر نشان داده که ساختار H.۲۶۴/AVC [۸] و نسخه‌های بعدی آن با بخش‌بندی یک فیلم ویدئویی به تعدادی فریم در قالب یک GOP ۱۲ یا ۱۶ فریمی، می‌تواند نه تنها در کاهش پهنای باند مصرفی مؤثر باشد، بلکه باعث افزایش کیفیت ویدئوی دریافتی در دریافت‌کننده‌ها شود. شکل ۱ ساختار یک GOP شامل ۱۲ فریم را نشان می‌دهد. این استاندارد توسط گروه تخصصی کدینگ ویدئو ITU-T و ISO-IEC به وجود آمد. در این ساختار سه نوع فریم I، P و B مشاهده می‌شود.

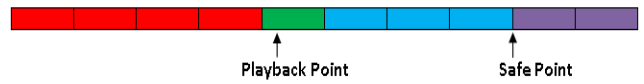
خاصی را به شبکه تحمیل نمی‌کند ولی مهم‌ترین ایراد آن، عملکرد غیر هوشمندانه آن در خصوص انجام عملیات Push و Pull می‌باشد. زیرا ممکن است یک نظیر در یک بازه زمانی مربوط به Pull نیاز به انجام Push به همسایگانش داشته باشد و بالعکس و یا برای مثال در بازه زمانی مربوط به Push هیچ فریم جدیدی برای ارسال نداشته باشد. همچنین، این روش نیز همانند دو روش قبلی، مشکلات ذاتی روش‌های پایه را در بر دارد.

۳-۳ روش PI/PS

چهارمین روشی که نظیرها می‌توانند از آن برای مبادله فریم‌ها استفاده نمایند، روش PI/PS است. نظیرها در ابتدای ورود به شبکه، تلاش می‌کنند تا با الگوریتم Pull از یک نظیر شریک، بخشی از فریم‌های اولیه مورد نیاز خود در زمان حافظه ابتدایی را ذخیره کنند. سپس با انتساب جریان Push از آن شریک به خود، سایر فریم‌های مورد نیازشان را دریافت نمایند. این روش برای سایر نظیرهایی که تازه به شبکه متصل می‌شوند نیز ادامه می‌یابد. به عبارتی، هر نظیر در ابتدای ورود، حافظه اولیه خود را با الگوریتم Pull پر نموده و سپس همسایگانش با انتساب جریان‌های Push به آن، سعی در تأمین فریم‌های مورد نیازشان دارند [۳۰] تا [۳۲]. یافتن و انتساب جریان‌های Push، یکی از معایب این روش است که باعث افزایش پیچیدگی محاسباتی شبکه خواهد شد. همچنین این روش از معایب ذاتی دو روش پایه در هنگام استفاده مجزا از آنها رنج می‌برد. از جمله روش‌هایی که از این نوع مبادله داده استفاده می‌کنند، می‌توان به PPM [۳۱] اشاره نمود. هر نظیر در صورتی که زمان پخش یک فریم از دو برابر زمان RTT^۲ کمتر باشد، از الگوریتم Pull و در غیر این صورت، از الگوریتم Push برای دریافت فریم‌ها استفاده می‌نماید.

۴-۳ سایر روش‌های ترکیبی ارائه‌شده

به جز روش‌های فوق که همگی تجمیعی صرف از دو روش پایه بوده‌اند، روش‌های دیگری نیز برای مبادله مؤثرتر اطلاعات بین نظیرها ارائه شده که به شرح آنها می‌پردازیم (هرچند این تحقیقات نیز ترکیب مؤثری را از روش‌های پایه ارائه ننموده‌اند). الساندرو و همکارانش [۳۳]، روشی را ارائه نموده‌اند که در آن نظیر می‌تواند به صورت دلخواه از هر یک از روش‌های پایه برای همگام‌سازی خود با نظیرهای همسایه، هنگام پخش جریان زنده ویدئو استفاده کند. سپس نظیر ارزیابی می‌کند آیا ترتیب استفاده از Push و Pull برایش مفید بوده است یا خیر. در صورت عدم رضایت، ترتیب استفاده از دو روش را عوض می‌نماید. در تحقیقی دیگر، نظیرهایی که پایداری بیشتری در شبکه داشته‌اند، در یک ساختار درختی با الگوریتم Push مبادله اطلاعات کرده و سایر نظیرها در ساختار توری با الگوریتم Pull فریم‌ها را مبادله می‌کنند [۲۳]. در روش ارائه‌شده توسط [۳۴]، نظیرها در قالب ساختارهای زیردرخت، فریم‌های ویدئوی زنده را با الگوریتم Push ارسال می‌نمایند. الگوریتم Pull جهت بهینه‌کردن ارتباط بین نظیرها در زیردرخت‌های مختلف استفاده می‌شود تا کمبود فریم‌هایی که نظیرهای بالاتر در یک زیردرخت ندارند، جبران شود. در روش ارائه‌شده توسط لی و همکاران [۳۵]، ضمن تأکید بر کارایی بیشتر روش‌های ترکیبی مبتنی بر Push و Pull، تلاش شده تا یک روش مناسب جهت ایجاد تعادل بین سربار ترافیکی و گذردهی سیستم ارائه شود. سربار ترافیکی ایجادشده عمدتاً به علت مبادله فریم‌های تکراری



شکل ۲: ساختار حافظه محلی یک نظیر بر اساس روش PR/PE.

- PEO/POE (Push in Even/Odd and Pull in Odd/Even slot)
- PI/PS (Pull Initial-frames/Push Substreams)
- سایر روش‌های ترکیبی ارائه‌شده

۱-۳ روش PR/PE

در این روش همه نظیرها فریم‌ها را به روش Push بین خود مبادله می‌کنند و اگر نظیری نتواند فریم مورد نظر خود که نزدیک به پخش است را در حافظه خود پیدا کند، از طریق الگوریتم Pull به جستجوی آن در همسایگان خود می‌پردازد [۲۵]. به این فریم‌ها، فریم‌های اضطراری می‌گویند. روش TreeClimber [۲۶] نیز از همین اصول پیروی می‌کند. به عبارتی نظیرها در یک ساختار رویین، با استفاده از الگوریتم Pull فریم‌هایی را که مهلت پخش آنها نزدیک است درخواست و سایر فریم‌ها را Push می‌کنند. اگرچه این روش تلاش دارد تا با استفاده از الگوریتم Push میزان تأخیر نقطه به نقطه و با استفاده از الگوریتم Pull میزان کیفیت ویدئو را تا حدی افزایش دهد، ولی مشکلات ذاتی هر دو روش همچنان در این روش ترکیبی باقی مانده‌اند. به عبارتی، این روش تجمیعی از اجرای پشت سر هم دو روش پایه است که باعث می‌شود در هر مرحله از اجرای هر یک، مشکلات ذاتی آن بروز نماید. اجرای Push و Pull در این دسته از روش‌ها بر پایه فاصله نقطه بازپخش و نقطه اطمینان^۱ می‌باشد. شکل ۲ ساختار حافظه محلی یک نظیر را برای این دو نقطه نشان می‌دهد. ناحیه سبز ناحیه بازپخش، آبی‌رنگ ناحیه اطمینان، قرمز رنگ فریم‌های پخش‌شده و رنگ بنفش فریم‌هایی را نشان می‌دهد که در آینده مورد نیاز هستند، ولی داشتن آنها در حال حاضر ضرورتی ندارد.

در روشی مشابه روش ارائه‌شده در [۷]، ابتدا هر نظیر بخش‌های ویدئوی دریافتی از منبع را به سایرین Push می‌کند، سپس نظیرها در یک پروسه Pull، سعی در به دست آوردن فریم‌هایی دارند که در حافظه‌شان وجود ندارند. در روشی مشابه، هر نظیر به روش Pull فریم‌های اضطراری مورد نظر خود را از دیگران در یک ساختار توری دریافت می‌کند، ولی این نظیر می‌تواند در قالب یک ساختار درختی تشکیل‌شده بر روی ساختار توری موجود، فریم‌هایی را که از نظر میزان تکرار در حافظه همسایگانش کم هستند به روش Push ارسال نماید [۲۷]. روش ارائه‌شده تحت نام mTreebone [۲۸] نیز از همین روش برای مبادله اطلاعات استفاده می‌نماید. در این روش، همه نظیرها در قالب یک ساختار توری عضو می‌شوند و سپس نظیرهایی که از نظر میزان پایداری در شبکه مدت زمان بیشتری را سپری کرده باشند، تشکیل درخت خواهند داد.

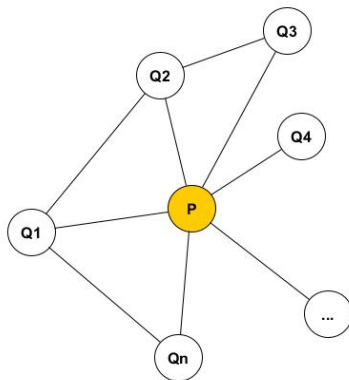
۲-۳ روش PEO/POE

در این روش، هر نظیر دارای بازه‌های زمانی یکسانی است. نظیر می‌تواند در بازه زمانی زوج/فرد عمل Pull و در بازه زمانی فرد/زوج عمل Push را انجام دهد [۲۹]. حسن این روش سادگی آن است که پیچیدگی

است تحت تأثیر قرار می‌دهد، باز هم اجرای جداگانه دو روش پایه معایب ذاتی آنها را در بر دارد، روش کدینگ تصادفی استفاده‌شده در این شبکه برای کد کردن و ارسال مجدد بسته‌ها در نظیرها هزینه و سربار اجرایی بسیار زیادی را به شبکه تحمیل می‌کند. لازم به ذکر است در صورت استفاده از روش کدینگ شبکه معرفی شده توسط برکتین و همکارانش به نام MATIN [۱۷]، این مشکل به سادگی قابل رفع است. رونقی [۴۱] یک روش ترکیبی مبتنی بر دو روش پایه برای مبادله جریان زنده ویدئویی در شبکه نظیر به نظیر ارائه داده است. هدف اصلی این تحقیق کاهش میزان تأخیر نقطه به نقطه نسبت به روش Pull است. لی و همکاران در [۴۲] نیز روشی مشابه ارائه نموده‌اند. اولیورا و همکاران در تحقیق انجام‌شده در [۱۴] تمرکز خود را بر روی نظیرهای خودخواه گذاشته‌اند. به عبارتی آنها تأثیر رفتاری این نظیرها بر روی کیفیت ویدئوی دریافتی را هنگامی که از روش ترکیبی Push/Pull استفاده می‌شود مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در تحقیق انجام‌شده توسط شاه‌جاودانی و همکاران [۲۰]، یک مکانیزم تطبیق‌پذیر برای کاهش میزان سربار ناشی از نگهداری فریم‌ها در حافظه مبتنی بر روش Pull ارائه شده است. در این روش هر نظیر همراه با BMS ارسالی خود، آخرین فریم دریافتی خود را نیز به همسایگانش ارسال می‌کند. سپس هر همسایه بر اساس این اطلاعات آن مقدار فریم را در BMS ارسالی بعدی خود به آن نظیر ارسال می‌نماید که حدس می‌زند آن نظیر می‌تواند در بازه زمانی مبادله تا BMS بعدی دانلود کند. اخیراً هدی آیت‌اللهی و همکاران [۴۳]، یک روش ترکیبی Push/Pull برای جریان‌سازی ویدئو در شبکه‌های نظیر به نظیر بر اساس ویدئوی لایه‌بندی شده ارائه نموده‌اند. در روش آنها لایه پایه توسط الگوریتم Push به همه نظیرها ارسال می‌شود. این لایه، لایه‌ای است که هر نظیر با دریافت آن می‌تواند حداقل کیفیت ویدئوی لازم را برای کاربر خویش فراهم آورد. سپس نظیرها در یک روند مشخص با استفاده از زمان‌بند Pull اقدام به دریافت لایه‌های افزایشی جریان ویدئو می‌نمایند تا بتوانند کیفیت بالاتری را برای کاربر فراهم کنند. همچنین آنها از روش کدینگ شبکه برای افزایش گذردهی شبکه با کد کردن فریم‌ها در حافظه نظیرها استفاده نموده‌اند. روش مورد استفاده آنها RNC^۲ می‌باشد که به نوبه خود سربار اجرایی سنگینی را به نظیرها تحمیل می‌کند. ساختار ویدئوی مورد استفاده نیز MPEG-4 با GOP دوازده‌فریمی بوده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با OMENT++ نشان می‌دهد کیفیت ویدئوی دریافتی، تأخیر دریافت فریم‌ها و گذردهی شبکه در مقایسه با RNC بهبود یافته است. این روش نیز تجمعی از اجرای هم‌زمان دو روش پایه است. ضمن این که عمل Push در ساختار توری به انجام می‌رسد که باعث ازدیاد قابل توجه بسته‌های تکراری در نظیرها می‌گردد. هرچند نویسنده تلاش نموده تا با استفاده از روش RNC این معضل را تا حدی به یک مزیت تبدیل نموده و میزان تنوع بسته‌ها را افزایش دهد، ولی سربار ناشی از این عمل که مورد سنجش این مقاله قرار نگرفته است بسیار قابل توجه می‌باشد. در پایان لازم به ذکر است کارهای مرتبط محدود دیگری نیز در برخی مجله‌ها و کنفرانس‌های دیگر پیشنهاد شده‌اند که به دلیل نزدیکی بسیار زیاد آنها به روش‌های مورد بررسی قرار گرفته، در این بخش از ذکر آنها خودداری می‌کنیم.

اگر به توضیحات آمده در این بخش دقت شود، تمامی روش‌های معرفی شده تا کنون، علی‌رغم این که توانسته‌اند بهبود نسبی در کیفیت ویدئوی دریافتی ایجاد کنند، ولی صرفاً اجرای سریال یا موازی از دو روش

زیاد بین نظیرها می‌باشد. در روش PALM ارائه‌شده توسط هونگ و همکارش، از یک روش تشویقی مبتنی بر امتیاز جهت کاهش تأخیر، افزایش ادامه‌سازی جریان و میزان همکاری نظیرها استفاده شده است. مکانیزم تشویقی باعث کاهش اثر نظیرهای خودخواه در شبکه می‌شود. در این روش نظیرها در یک ساختار روبین درختی قرار گرفته و سپس با استفاده از روشی مشابه Bittorrent [۳۶]، به مبادله اطلاعات بین خود می‌پردازند. یکی از اولین روش‌های مبادله فریم در شبکه‌های نظیر به نظیر توسط سیستم CoolStreaming [۳۷] پیشنهاد شد. در این روش، هر نظیر فریم‌ها را از نظیر مستعدی که دارای بیشترین پهنای باند باشد درخواست می‌کند. بعدها در نسخه جدید این سیستم به نام New CoolStreaming [۳۸]، دو عیب روش قبل، یعنی تأخیر بالای ناشی از استفاده از الگوریتم Pull و زمان شروع به ارسال زیاد شبکه به علت حافظه‌کردن اولیه فریم‌ها، بهبود یافت. در روش ارائه‌شده توسط لی و همکاران [۳۵] به نام LStreaming، ضمن تأکید بر کارایی بیشتر روش‌های ترکیبی مبتنی بر Push و Pull، تلاش شده تا یک روش مناسب جهت ایجاد تعادل بین سربار ترافیکی و گذردهی سیستم ارائه شود. کنونگ و همکاران در تحقیق دیگر، با ارائه یک روش ترکیبی مبتنی بر دو روش پایه، تلاش در بهینه‌کردن الگوریتم Push با اعمال یک روش آگاهانه در ارسال فریم‌ها به نظیرهای همسایه نموده‌اند [۳۹]. ترن و همکاران، روشی ترکیبی به نام Mobilecast را برای مبادله فریم‌های جریان زنده ویدئویی بر روی شبکه بی‌سیم ارائه نموده‌اند [۷]. در تحقیقی دیگر که توسط کیم و همکاران برای مبادله جریان بر حسب تقاضای ویدئو (VoD) ارائه شد [۴۰]، روشی ترکیبی ارائه گردیده که در آن هر نظیر به هنگام ورود به شبکه جهت کاهش سربار ناشی از سامان‌دهی مجدد ساختار شبکه، با استفاده از الگوریتم Pull فریم‌هایی را از نظیرهای همسایه خود دریافت می‌کند. این رویه تا هنگامی که نظیر همسایه شبکه را قبل از اتمام پخش ویدئوی این نظیر ترک نکرده باشد، ادامه می‌یابد و در غیر این صورت از روش Push برای مبادله فریم بین نظیرها استفاده می‌شود. محققان در تحقیق [۲۲]، یک روش ترکیبی بر روی شبکه CDN-P2P برای کاهش میزان تأخیر ناشی از این نوع شبکه ارائه داده‌اند. ساختار این شبکه، ترکیبی از ساختار نظیر به نظیر درختی و توری است. در ابتدا یک درخت شامل همه نظیرهای شبکه برپا می‌شود. سپس الگوریتم زمان‌بندی Push برای ارسال فریم‌های GOP جریان زنده ویدئو به کار گرفته می‌شود. روش ارائه‌شده توسط روسو و همکارانش [۲۳] به نام PPSSM و با هدف کاهش از دست رفتگی بسته و افزایش گذردهی شبکه، شامل سه مرحله می‌باشد. این سه مرحله شامل ایجاد زیرساخت درختی، با پخش کردن پویای اولیه جریان ویدئو و استفاده از کدینگ شبکه^۱ می‌باشد. امروزه کدینگ شبکه یکی از روش‌های بسیار مؤثر برای افزایش گذردهی شبکه است. این روش در ساختار درختی خود تلاش می‌کند نظیرهای پایدار را انتخاب نماید و جریان داده را در آن با استفاده از Push مبادله کند. سپس بر اساس نظیرهای غیر پایدار یک ساختار توری تشکیل دهد و از روش Pull برای مبادله فریم‌ها بهره ببرد. اگرچه روش فوق توانسته تا حدی کیفیت ویدئوی دریافتی را ارتقا دهد، از چند مشکل به شرح زیر رنج می‌برند. در شبکه‌های نظیر به نظیر پویا، اجرانمودن بیش از حد الگوریتم یافتن نظیرهای پایدار هزینه بالایی دارد، درخت تشکیل شده بر اثر Churning یا تحرک‌پذیری نظیرها دچار افراز شده و این عملاً کارایی ساختار درختی را که این روش بسیار بر آن متکی



شکل ۴: ساختار فرضی شبکه توری مورد استفاده در این مقاله.

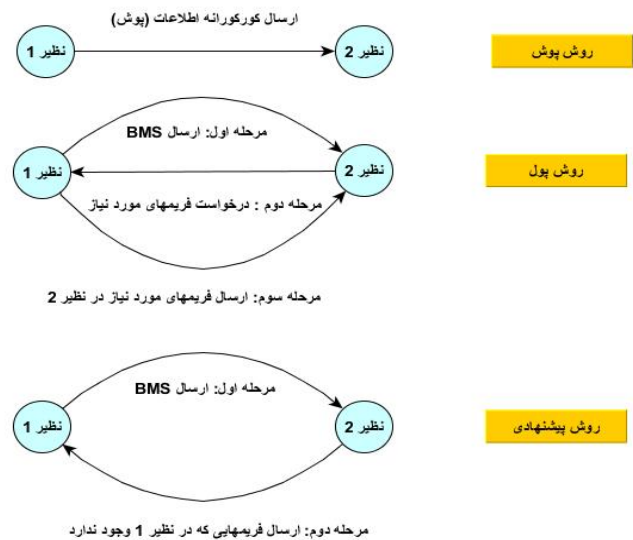
شکل ۳ نحوه کلی عملکرد این الگوریتم و مقایسه آن با دو الگوریتم پایه Push و Pull را نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل مشاهده می‌شود، در روش AMIN نه تنها فریم‌های تکراری ناشی از ارسال کورکورانه اطلاعات بین نظیرها در روش Push وجود ندارد، بلکه با کاهش مبادله سه‌مرحله‌ای روش Pull به دو مرحله، می‌تواند باعث کاهش چشم‌گیر تأخیر مبادله اطلاعات و در نتیجه به موقع رسیدن فریم‌های ویدئو در گیرنده‌ها شود. به عبارتی، هر نظیر به جای ارسال فریم‌ها بدون توجه به حافظه نظیرهای همسایه، تلاش می‌کند بر خلاف روش Pull که انتظار دریافت فریم از همسایه‌های خود را دارد، بررسی کند چه فریم‌هایی را می‌تواند به نظیر همسایه‌اش ارسال کند.

جهت توضیح واضح‌تر از روش پیشنهادی بر اساس شکل ۴ می‌توان آن را در قالب روندنمای مذکور در شکل ۵ برای یک نظیر مانند P بیان نمود. در این روندنما فرض شده که نظیر P دارای n همسایه Q_1 تا Q_n می‌باشد. برخی از این همسایه‌ها نیز خود همسایه مستقیم یکدیگر هستند. به عبارتی یک لینک مشترک بین آنها وجود دارد. برخی نیز همسایه‌های غیر مستقیم یکدیگر هستند. در این حالت یک نظیر با دو گام به همسایه غیر مستقیم خود می‌رسد. اما منظور از همسایه غیر مستقیم نظیری است که خود حتماً همسایه نظیر P باشد. در این شکل نظیرهای Q_1 و Q_2 همسایه مستقیم و نظیرهای Q_3 و Q_4 همسایه غیر مستقیم یکدیگر هستند.

همچنین شکل ۶ معماری کلی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. بخش AMIN در این معماری، در واقع همان روش نوین ترکیبی مبتنی بر Push/Pull ارائه‌شده در پژوهش جاری می‌باشد. ورودی‌های این بخش شامل رشته BMS، زمان‌بند دریافت فریم و BMS و همچنین وضعیت حافظه محلی می‌باشند که بر اساس مطالبی که در ادامه خواهیم دید، کمک می‌کنند تا روش پیشنهادی بتواند بهترین تصمیم‌گیری را انجام دهد. مدیریت نظیر کلیه اعمال (مانند اتصال و خروج از شبکه، ارسال فریم و BMS و از این قبیل) مرتبط با هر نظیر در شبکه را کنترل، مدیریت و نظارت می‌نماید.

۴-۲ مفاهیم و واژه‌های کلیدی

در جدول ۱، واژه‌ها و مفاهیمی که در بیان نحوه عملکرد روش پیشنهادی بر اساس شکل‌های قبل آمده است، شرح داده شده‌اند. در این شکل، خطوط پررنگ و مقطع به ترتیب نشان‌دهنده جریان داده ویدئو و پیام‌های کنترلی بین جعبه‌های معماری هستند. پیام‌های کنترلی داخل خود نظیر بین بخش‌های مختلف اجزای آن مبادله می‌شوند و به خارج از نظیر هدایت نخواهند شد.



شکل ۳: روش AMIN و مقایسه آن با دو الگوریتم پایه Push و Pull.

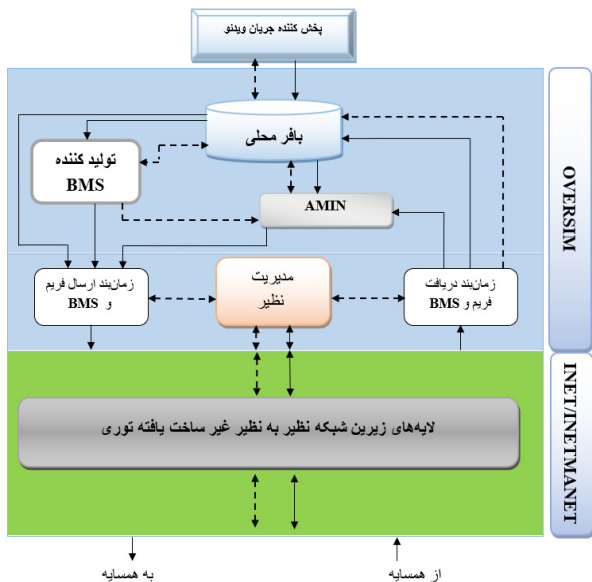
پایه بوده‌اند. البته لازم به ذکر است که بهبود کیفیت ویدئوی حاصل شده در این روش‌ها به ازای افزایش سربار شبکه و یا نادیده گرفتن برخی موارد همچون Churning به دست آمده است. در بخش بعد به ارائه روشی نوین و مؤثر به نام AMIN برای بهبود هرچه بیشتر مشکلات فوق می‌پردازیم.

۴- روش پیشنهادی AMIN

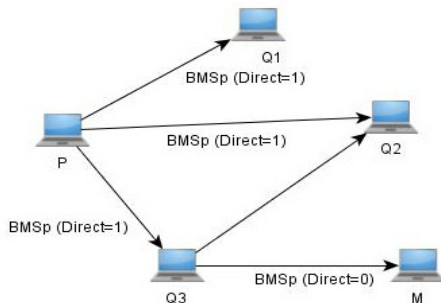
بر خلاف روش‌های تجمیعی موجود برای مبادله فریم‌های ویدئو که در رفع هم‌زمان مشکل تأخیر و میزان پهنای باند دچار چالش هستند، روش پیشنهادی این مقاله به گونه‌ای عمل می‌کند که ضمن حفظ و استفاده بهینه از پهنای باند آزاد بین نظیرها، تأخیر نقطه به نقطه و دریافت را نیز کاهش می‌دهد. به عبارتی، برخلاف روش‌های سنتی Pull، این دریافت‌کننده BMS است که جهت کاهش تأخیر تلاش می‌کند تا فریم‌های جاافتاده همسایه‌اش (فرستنده BMS) را جبران نماید، به گونه‌ای که آن نظیر فریم‌های تکراری نگیرد. بدین ترتیب ضمن حفظ تأخیر پایین، پهنای باند محدود و ارزشمند بین نظیرها هم به دلیل عدم وجود فریم‌های تکراری به صورت بهینه مصرف می‌شود. این یک ترکیب هوشمندانه از دو روش پایه است. بر اساس بخش قبل، هرچند الگوریتم‌های ارائه‌شده در این حوزه تلاش کرده‌اند از مزایای هر دو الگوریتم پایه Push و Pull به طرز بهتری استفاده کنند، ولی هر کدام به دلایلی که در بخش مرور کارهای پیشین این مقاله ارائه شد، نتوانسته‌اند ترکیب کارآمدی را ارائه نمایند. به عبارتی، ترکیب نامناسب استفاده‌شده در این الگوریتم‌ها، مزیت چندانی را برای یک شبکه نظیر به نظیر بالاخص در جریان‌سازی ویدئوی زنده فراهم نمی‌آورد. حقیقت این الگوریتم‌ها این است که آنها بیشتر سعی در تجمیع دو الگوریتم پایه Push و Pull داشته‌اند تا ارائه یک ترکیب نوین به گونه‌ای که از مزایای هر دو الگوریتم بهره برده و معایب استفاده از آن در شبکه توری به حداقل ممکن برسد.

۴-۱ کلیات روش AMIN

در این تحقیق، به دنبال الگوریتم ترکیبی بهینه‌شده‌ای هستیم که نه تنها از مزایای الگوریتم Pull در ساختار توری برای مبادله جریان زنده ویدئویی استفاده کنیم، بلکه بتوانیم با انجام یک Push هوشمندانه باعث کاهش تأثیر تأخیر آنها به انتهای ناشی از استفاده از الگوریتم Pull شویم.



شکل ۶: معماری کلی روش AMIN.



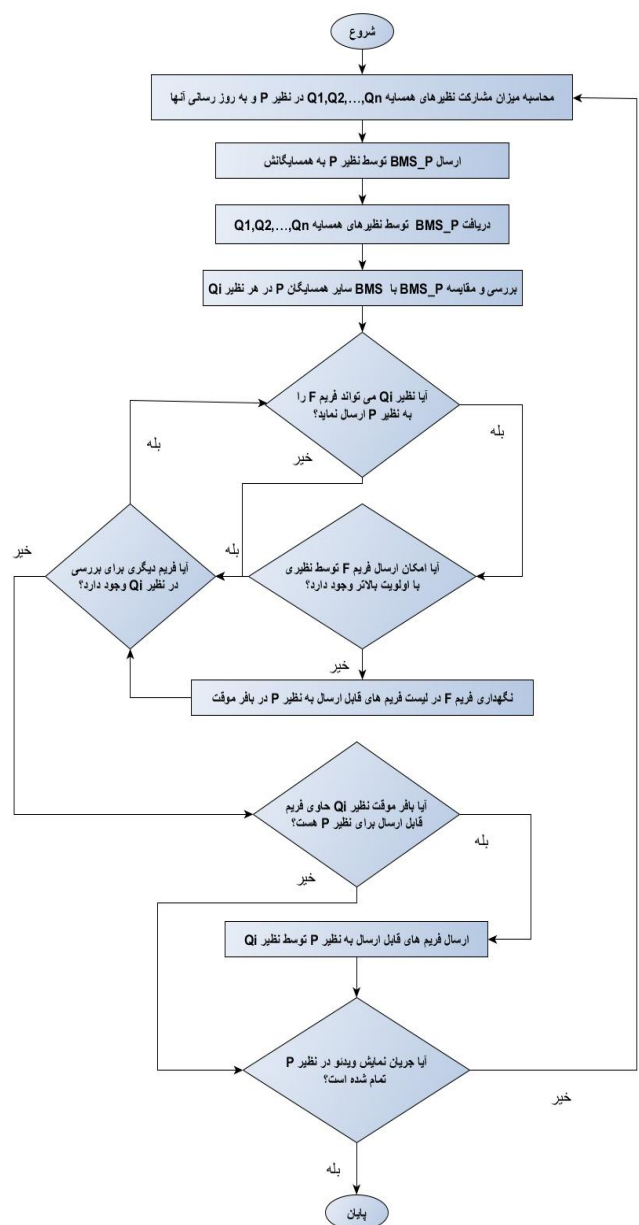
شکل ۷: نحوه ارسال BMS نظیر P به همسایه‌های آن در روش AMIN.

مشترک نیستند، ارسال مجدد می‌نماید. به عبارتی هر نظیر، لیست همسایه‌های مشترک خود با سایر نظیرهای همسایه را دارد. در شکل ۷ نظیر همسایه Q_1 این عملیات را انجام داده و BMS_{pid} را به نظیر همسایه خود (نظیر M ، نه نظیر Q_2) ارسال نموده است. بنابراین، روش AMIN فاقد ارسال BMS تکراری قابل توجه است.

در BMS ارسالی موارد زیر وجود دارند:

- وضعیت نقطه پخش (فریمی که در حال پخش است). همسایه‌ها بر اساس سیاست شبکه می‌توانند چند ثانیه قبل (T_b) و بعد (T_a) از این نقطه را در مقایسه وضعیت حافظه خود با حافظه ارسالی P در نظر بگیرند،
- شماره GoP ای که نظیر P در حال پخش آن است،
- وضعیت موجودی فریم‌ها در حافظه با توجه به دو فیلد T_a و T_b ،
- شناسه هر همسایه ($\{Q_i_Id\}$) همراه با میزان محاسبه‌شده مشارکت آن (طبق ادامه این بخش)،
- فیلد Direct.

یکی از مهم‌ترین نکات کلیدی روش پیشنهادی، محاسبه میزان مشارکت نظیرها نسبت به یکدیگر است. این میزان نشان می‌دهد هر همسایه P نسبت به آن چه میزان همکاری داشته است. این همکاری در مقایسه با میزان همکاری P با آن نظیر بوده است. هر نظیر این میزان را تا زمانی که نظیر دیگر همسایه مستقیم یا غیر مستقیم آن باشد، در جدول فوق نگهداری می‌کند و در صورتی که داده‌ای بین آنها برای مدت زمان مشخصی مبادله نشود، میزان عددی مشارکت صفر خواهد شد. زمان انتظار برای وقوع این رخداد نیز در شبکه واقعی و شبیه‌سازی انجام‌شده



شکل ۵: روندنمای روش AMIN که در یک نظیر فرضی مانند P پس از دریافت وضعیت بافر همسایه به انجام می‌رسد.

۳-۴ جزئیات روش پیشنهادی AMIN

در ادامه به بررسی دقیق‌تر مراحل الگوریتم نوین ترکیبی پیشنهادی مبتنی بر دو الگوریتم پایه Push و Pull می‌پردازیم. در بخش‌های پیش رو باز هم فرض بر این است که نظیر P به همه n همسایه خود، BMS را ارسال نموده است. سپس، همسایه‌ها تلاش دارند تا با استفاده از روش پیشنهادی، فریم‌های مورد نظر P را با حداقل تعداد تکرار فریم هنگام دریافت توسط P ، به آن ارسال کنند. لازم به ذکر است که نظیرها به شبکه متصل شده و ارتباطات بین آنها شکل گرفته است.

۱-۳-۴ ارسال BMSpid توسط نظیر P

نظیر P با بررسی حافظه خود منطبق بر سیاست حفظ نقاط بحرانی و اطمینان، اقدام به ارسال BMS با شناسه id به همسایه‌هایش (طبق جدول $TDIN_p$) می‌نماید. هر نظیر همسایه مستقیم P ، با تغییر بیت Direct به صفر، این BMS را به همسایه‌های خودش که با نظیر P

جدول ۱: واژه‌های کلیدی روش AMIN.

واژه/ مفهوم	شرح
P	یک نظیر فرضی در شبکه غیر ساخت یافته توری که قابلیت ارسال/ دریافت فریم‌های ویدئو به/ از همسایه‌های خود را دارد و پس از دریافت، آنها را برای کاربر مربوط پخش می‌کند.
$LB(P)$	نام حافظه محلی نظیر P (Local Buffer)
$Q_i, i=1,2,\dots,n$	همسایه‌های نظیر P که تعداد آنها بین ۱ تا n متغیر است. مقدار n را شرایط شبکه تعیین می‌کند ولی در شبیه‌سازی انجام شده این مقدار در شبیه‌ساز مقداردهی می‌شود.
$\{Q_i\}$	لیستی از همه n همسایه نظیر P
$BMSpid$	جدول وضعیت نقشه حافظه نظیر P با شناسه id. این شناسه در هر بار ارسال وضعیت حافظه نظیر یکی افزایش می‌یابد.
GoP_PM	رشته بیتی نشان‌دهنده وضعیت فریم‌های GoP شماره M در حافظه نظیر P را نشان می‌دهد. فرض کنیم GoP شماره $M=17$ دارای فقط ۴ فریم IB,B,P باشد. رشه بیتی ۱۰۱۱ بدین معنی است که نظیر P همه فریم‌های این GoP به جز فریم B را دارد.
$TDIN_p$	جدول همسایه‌های مستقیم و غیر مستقیم نظیر P طبق شکل ۷
TNR_p	جدول امتیازدهی و رتبه‌بندی نظیرهای همسایه P که در حافظه آن نگهداری و به روز رسانی می‌شود. هر نظیر مانند P ، یک میزان مشارکت برای هر همسایه Q خود نگهداری می‌نماید.
$EF(P)$	لیست فریم‌های ویدئوی قابل دسترس در حافظه محلی نظیر P (Existing Frames)
F	یک فریم ویدئویی که می‌تواند هر یک از فریم‌های I, P یا B باشد.
P_Id	شناسه منحصر به فرد نظیر P در شبکه
$Direct$	نشان‌دهنده وضعیت ارتباطی همسایه با نظیر P است. بیت ۱ یعنی همسایه مستقیم و بیت ۰ یعنی همسایه غیر مستقیم.
T_a, T_b	مقدار زمان قبل (T_b) و بعد (T_a) از نقطه پخش در نظیر P
T_{n-1}, T_n	زمان‌های دریافت BMS قبلی (T_{n-1}) و فعلی (T_n) در یک نظیر
$Rank(Q_i)$	مقدار رتبه‌بندی نظیر همسایه با نام Q_i در بین همه همسایه‌های نظیر P

دریافت شده در نظیر P از نظیر Q_i ، $Sent_Averaged_{old}$ میزان محاسبه شده مشارکت در زمان ارسال BMS قبلی برای بسته‌های ارسال شده توسط نظیر P به نظیر Q_i ، $Sent_Averaged_{new}$ میزان محاسبه شده مشارکت در زمان ارسال BMS فعلی برای بسته‌های ارسال شده توسط نظیر P به نظیر Q_i و N_p و N_{Q_i} تعداد همسایه‌های نظیرهای P و Q_i هستند.

با توجه به روابط، اگر m نظیر از مجموعه $\{Q_i\}$ بتوانند برای مثال فریم P_2 از GoP شماره ۱۷ را برای نظیر P ارسال کنند، روش پیشنهادی نظیری را مجبور به ارسال این فریم خواهد نمود که دارای کمترین میزان مشارکت محاسبه شده با P در مجموعه $\{Q_i\}$ باشد. بدین ترتیب نه تنها جلوی نظیرهای خودخواه^۲ گرفته می‌شود، بلکه تلاش می‌گردد تا از پهنای باند نظیرها به درستی و به صورت توزیع شده استفاده گردد. نظیر خودخواه نظیری است که از پهنای باند آپلود دیگران نهایت بهره را می‌برد ولی پهنای باند آپلود خود را در اختیار همسایگانش قرار نمی‌دهد.

۴-۳-۲ دریافت BMSpid در نظیر Q_i

طبق مطالب فوق، نظیر P باید میزان مشارکت هر همسایه را با خود محاسبه نماید. نحوه محاسبه این مقدار به شرح (۳) می‌باشد. هر نظیر همسایه مانند Q_i به محض دریافت BMSpid اقدام به به روز رسانی اطلاعات خود بر اساس اطلاعات موجود در این BMS می‌نماید. شناسه هر نظیری که همسایه P است، آخرین شناسه جدول BMS هر نظیر همسایه P (جهت این که اگر وضعیت حافظه ارسالی همسایه‌ای توسط P قدیمی است، نظیر وضعیت قدیمی حافظه همسایه P را مجدداً بررسی نکند)، حجم ویدئوی دریافتی در Q_i از نظیر همسایه P و ارسالی به نظیر همسایه P توسط Q_i به بایت (این برای محاسبه میزان مشارکت نظیر P در همسایه Q_i آن می‌باشد)، مقدار محاسبه شده مشارکت نظیرهای همسایه مستقیم و غیر مستقیم (P رتبه‌بندی آنها).

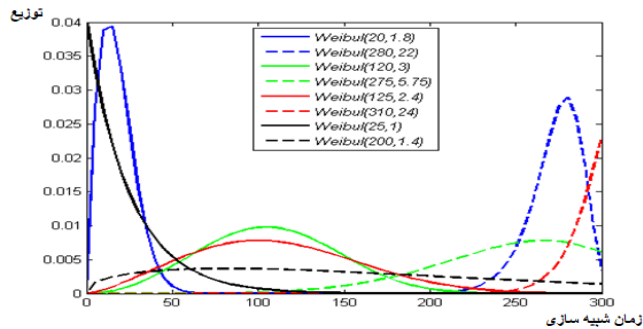
قابل تنظیم است که این مقدار در تحقیق جاری با توجه به زنده بودن ترافیک ۳ ثانیه (ارسال/ دریافت سه BMS) در نظر گرفته شده است. نظیر P به صورت زیر میزان مشارکت هر نظیر همسایه Q_i خودش را به صورت جداگانه برای هر یک محاسبه و در جدول TNR_p ذخیره می‌نماید. روابط (۱) تا (۳) به ترتیب نشان‌دهنده میزان مشارکت محاسبه شده بین نظیر P و همسایه Q_i آن و مقادیر صورت و کسر (۳) می‌باشند

$$Contribution\ Ratio = \frac{Received_Average_{new}}{Sent_Average_{new}} \quad (1)$$

$$Sent_Average_{new} = Sent_Averaged_{old} + \frac{ks}{\frac{MNUB_p}{N_p} \times (T_n - T_{n-1})} \quad (2)$$

$$Received_Average_{new} = Received_Averaged_{old} + \frac{kr}{\frac{MNUB_{Q_i}}{N_{Q_i}} \times (T_n - T_{n-1})} \quad (3)$$

که $1 MNUB$ حداکثر پهنای باند آپلود بر حسب b/s، kr حجم بسته‌های دریافتی از همسایه Q_i در نظیر P از زمان دریافت BMS قبلی (T_{n-1}) تا زمان دریافت BMS (T_n) فعلی از آن، ks حجم بسته‌های ارسالی به همسایه Q_i توسط نظیر P از زمان ارسال BMS قبلی (T_{n-1}) تا زمان ارسال BMS (T_n) فعلی به آن، $Received_Averaged_{old}$ میزان محاسبه شده مشارکت در زمان دریافت BMS قبلی برای بسته‌های دریافت شده در نظیر P از نظیر Q_i ، $Received_Averaged_{new}$ میزان محاسبه شده مشارکت در زمان دریافت BMS فعلی برای بسته‌های



شکل ۹: چهار سناریوی مختلف در نظر گرفته شده برای Churning نظیرها در شبیه‌سازی و مقایسه روش AMIN با سایر روش‌ها.

جدول ۲: نحوه عملکرد تابع MXOR برای مقایسه وضعیت بافر نظیرها.

X_1	X_2	$MXOR(X_1, X_2)$
۰	۰	۰
۰	۱	۰
۱	۰	۱
۰	۱	۰

حسگر، شبکه‌های ad-hoc بی‌سیم، پروتکل‌های اینترنت، مدل‌سازی عملکرد، شبکه‌های فوتونی و غیره، توسط چارچوب‌های مدل ارائه شده توسط OMNeT++ قابل انجام است. OMNeT++ یک محیط گرافیکی زمان اجرا بوده و یک میزبان برای ابزارهای دیگر ارائه می‌دهد. برای شبیه‌سازی روش‌های مورد مقایسه در این بخش، از دو چارچوب معروف INET برای شبیه‌سازی لایه‌های TCP/IP و از Denacast [۴۴] که مبتنی بر OVERSIM می‌باشد، برای شبیه‌سازی شبکه نظیر به نظیر توری غیر ساخت‌یافته بر روی بستر زیرین استفاده شده است. فرض‌های این تحقیق که در روند شبیه‌سازی آن در نظر گرفته شده‌اند عبارتند از: شبکه نظیر به نظیر توری بر روی بستر سیمی در شبکه اینترنت می‌باشد، هر نظیر به تعداد مشخصی بر اساس میزان پهنای باند آپلودش می‌تواند همسایه داشته باشد، پهنای باند هر نظیر به طور مساوی بین همسایگانش تقسیم می‌شود، نظیر خودخواه در شبکه به جهت بررسی دقیق عملکرد الگوریتم پیشنهادی وجود ندارد، نظیرها دارای حرکت نیستند و رفت و آمد نظیرها (Churn) در شبکه اتفاق می‌افتد (بنابراین پنج سناریوی کامل در نظر گرفته شد)، جریان ویدئوی زنده از یک منبع به روش GoP مبتنی بر روش کدینگ ۱۰ H.۲۶۴/MPEG تک‌لایه‌ای مبادله می‌شود، بستر شبکه توری به صورت تصادفی تشکیل و زمان ارسال BMS بین نظیرها هر یک ثانیه یک بار است.

۵-۱ پارامترهای شبیه‌سازی

در کلیه شبیه‌سازی‌های انجام شده شرایطی کاملاً یکسان برای همه روش‌ها در نظر گرفته شد. جداول ۳ و ۴ به ترتیب مشخصات جریان زنده ویدئویی برگرفته از کتابخانه ویدئوی دانشگاه Arizona و مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی را نشان می‌دهند. تعداد همسایه‌های هر نظیر به صورت تصادفی عددی بین ۳ تا ۵ در نظر گرفته شده است.

بر اساس جدول ۵ و شکل ۹، برای بررسی دقیق‌تر روش‌ها بر حسب تأثیر ورود و خروج نظیرها، سناریوهایی دقیق در نظر گرفته شد. در واقع برای هر تعداد نظیر مشخص به جز حالت بدون Churn، چهار حالت Churn در نظر داریم تا روش‌ها را برای شرایط کامل ورود و خروج نظیرها و اثرات آن بر روی کارایی روش‌ها، مورد ارزیابی قرار دهیم. محور افقی زمان شبیه‌سازی بر حسب ثانیه و محور عمودی مقادیر Weibull

Peer P sends BMSpid includes GoP_P M

Peer $Q_i, i = 1, 2, \dots, n$ receives BMSpid and extracts GoP_P M

$R = 1$

$S_R = MXOR(GoP_Q_i M, GoP_P M)$

For all neighbors $Q_j, j = 1, 2, \dots, n, j \neq i$ Do

If $Rank(Q_j) > Rank(Q_i)$ Then

$R = R + 1$

$S_R = MXOR(S_{R-1}, GoP_Q_j M) // Q_i$ temporary Keeps S_R in its

buffer

For $n = 1$ to GoP_Size Do

If $S_R(n) = '1'$ Then

Sends correspondence video frame in $S_R(n)$ to Peer P

شکل ۸: مقایسه BMSها در نظیر همسایه Q_i در روش AMIN.

۴-۳-۳ ارسال فریم به نظیر P

اکنون نظیرهای همسایه P با توجه به اطلاعات جداول ذکر شده در بخش قبل حاوی اطلاعات همسایه‌ها، مقایسه‌ای بین وضعیت حافظه خود و نظیر P انجام داده و اقدام به ارسال فریم‌هایی که نظیر P متقاضی آنها است می‌نمایند. نحوه انجام مقایسه بر اساس جدول ۲ و استفاده از تابع معرفی شده توسط این تحقیق به نام MXOR انجام می‌شود. خروجی این تابع تنها زمانی یک است که مقدار X_1 و X_2 به ترتیب برابر یک و صفر باشند.

روند مقایسه در نظیرهای همسایه P بر اساس شبه‌کد آمده در شکل ۸ می‌باشد. ولی از آنجایی که ممکن است نظیرهای متعددی یک فریم خاص را به یک نظیر مانند P ارسال کنند، در روش پیشنهادی از یک روش مقایسه هوشمندانه جهت مقایسه BMSهای نظیرهای همسایه برای همسایگان مستقیم و غیر مستقیم استفاده می‌شود. سپس نظیری اولویت ارسال یک فریم مشترک به نظیر P را به عهده می‌گیرد که میزان مشارکتش با آن در بین سایرین کمترین بوده باشد. به عبارتی، اگر فرض کنیم نظیرهای A و B همسایه‌های نظیر P هستند و هر دو بر اساس BMS دریافتی از نظیر P به این نتیجه می‌رسند که باید فریم B_1 از B شماره ۳۴ را برای آن ارسال کنند، آن گاه بر اساس روش اولویت‌بندی ارائه شده در این تحقیق، یکی از دو نظیر A یا B این عمل را انجام خواهند داد. بدین صورت فریم‌های تکراری به نظیر P ارسال نخواهد شد. محاسبه میزان مشارکت در نظیر P انجام می‌شود تا جلوی رفتار خودخواهانه نظیرها در مبادله اطلاعات گرفته شود. به عبارتی، اگر هر نظیر خود میزان مشارکتش با سایرین را تعیین کند، امکان اعلام غیر واقعی میزان مشارکت به صورت عمدی وجود دارد که باعث به وجود آمدن رفتار خودخواهانه نظیر می‌شود. رفتاری که در آن نظیر میزان مشارکت خود در شبکه را به صورت غیر واقعی بیشتر از حد معمول نشان می‌دهد تا سایرین از پهنای باند آپلود آن استفاده نکرده و انرژی خود را ذخیره کند.

۵- تجزیه، تحلیل و ارزیابی نتایج

شبیه‌سازی کلیه روش‌های مورد مقایسه در آخرین نسخه شبیه‌ساز معتبر OMNeT++ انجام گردید. این شبیه‌ساز یک کتابخانه و چارچوب شبیه‌سازی مبتنی بر C++ است که قابلیت انعطاف زیادی داشته و عمدتاً برای شبیه‌سازهای شبکه مورد استفاده است. "شبکه" به معنای عام آن شامل شبکه‌های ارتباطی سیمی و بی‌سیم، شبکه‌های تراشه، شبکه‌های صف‌بندی و غیره است. قابلیت‌های خاص مانند پشتیبانی از شبکه‌های

جدول ۳: مشخصات جریان زنده ویدئو در شبیه‌سازی.

عنوان	شرح	عنوان	شرح
نام ویدئو	Star War IV	پارامتر Quantizer (QP)	۸
Frame/Second	۳۰	Mean Frame Size	۶۳۱,۴ Bytes
	Variable Bit Rate	Mean Frame PSNR	۳۷,۳۵ Decible
ساختار GoP	Single Layer	Mean Frame Bit Rate	۱۵۱,۶ Kbps
	G۷۶B۸	مرجع ویدئو زنده	Arizona Trace Lib.

جدول ۴: پارامترهای شبیه‌سازی.

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
تعداد همسایه	Uniform(۳, ۵)	نرخ دانلود/آپلود	۲۰۴۸/۴۰۹۶ Kbps
تعداد نظیرها	۲۰۰-۱۰۰-۵۰	زمان مبادله BMS	۱ ثانیه
اندازه حافظه اولیه	۸ ثانیه	مدل توزیع نظیرها در شبکه	تصادفی
ابعاد شبکه	۴۰۰×۲۰۰ کیلومتر مربع	تعداد تکرار هر سناریو	۱۰
نرخ خطا	۰,۰۰۰۱	زمان شبیه‌سازی	۳۰۰ ثانیه

- روش پیشنهادی با نام AMIN
 - الگوریتم Push روی هر دو ساختار درخت و توری (به صورت رندوم روی توری)
 - الگوریتم Pull بر روی ساختار توری
 - ارسال به روش Pull در ساختار توری و روش Push در ساختار درختی مجازی روی شبکه توری با نام HybridPushPull [۲۲]

جدول ۵: شرح سناریوهای مختلف CHURN در نظر گرفته شده در شبیه‌سازی برای نظیرها بر اساس شکل ۸.

سناریو	شرح سناریو	توزیع ورود نظیرها Weibull(x,y)	توزیع خروج نظیرها Weibull(x,y)
R-Scenario۲ ورود سریع - خروج سریع	نظیرها با نرخ بالا تا ثانیه ۵۳م وارد و با همان نرخ بالا از ثانیه ۲۲۰ تا ۳۰۰ از شبکه خارج می‌شوند.	(۲,۱,۸)	(۲۸,۰,۲۲)
R-Scenario۳ ورود آرام - خروج آرام	نظیرها با نرخ پایین تا ثانیه ۲۲۰ وارد و از ثانیه ۱۱۵ تا ۳۰۰ با نرخ پایین از شبکه خارج می‌شوند.	(۱۲,۰,۳)	(۲۷۵,۵,۷۵)
R-Scenario۴ ورود آرام - خروج سریع	نظیرها با نرخ پایین تا ثانیه ۲۵۰ وارد و از ثانیه ۲۵۱ تا ۳۰۰ با نرخ بالا از شبکه خارج می‌شوند.	(۱۲۵,۲,۴)	(۳۱,۰,۲۴)
R-Scenario۵ ورود سریع - خروج آرام	نظیرها با نرخ بالا تا ثانیه ۱۳۰ وارد و از ثانیه صفر تا ۳۰۰ با نرخ پایین از شبکه خارج می‌شوند.	(۲۵,۱)	(۲۰۰,۱,۴)

برای مثال، زمانی که نرخ ورود و خروج نظیرها یکسان نیست، روش AMIN توانسته است درصد بالایی از کیفیت ویدئو را حفظ نماید. علت اصلی این موضوع این است که در روش AMIN، هر نظیر از چندین نظیر همسایه دیگر اطلاعات را هم‌زمان و بدون تکرار دریافت می‌کند و به محض خروج یکی از همسایه‌ها، سایر همسایه‌های نظیر، وظیفه آن را به عهده می‌گیرند. در روش Pull تنها زمانی که Churn وجود ندارد و یا نظیرها با سرعت آرامی وارد و خارج می‌شوند کیفیت نسبتاً بالا است، ولی در شدت این ورود و خروج، روش Pull باید از ابتدا پروسه درخواست فریم‌ها را تکرار نماید که این خود باعث افزایش تأخیر دریافت و در نتیجه کاهش کیفیت ویدئوی زنده دریافتی می‌شود. در خصوص سایر روش‌ها نیز علت پایین بودن کیفیت ویدئو مشخص است. روش Push در ساختار توری با افزایش غیر قابل تصور فریم‌های تکراری، باعث هدر رفتن پهنای باند در نتیجه افزایش تأخیر مبادله فریم‌ها می‌شود. این پارامتر تأثیر مستقیم بر روی کیفیت ویدئو دارد. این مشکل در روش ترکیبی نیز مشهود است، زیرا همان طور که قبلاً گفته شد، روش‌های ترکیبی فعلی تجمعی از دو روش پایه هستند. در روش Push_Tree نیز با افزایش Churn یا تعداد نظیرها، به ترتیب افراز و عمق درخت افزایش می‌یابد که هر دو بر روی کیفیت ویدئو تأثیرگذار هستند.

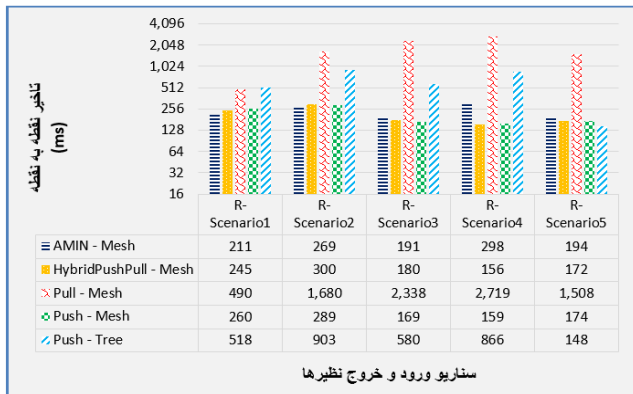
برای نرخ ورود و خروج نظیرها را نشان می‌دهند (به رنگ متن جدول و شکل جهت تطبیق توجه شود).

۲-۵ ارزیابی و تجزیه و تحلیل نتایج

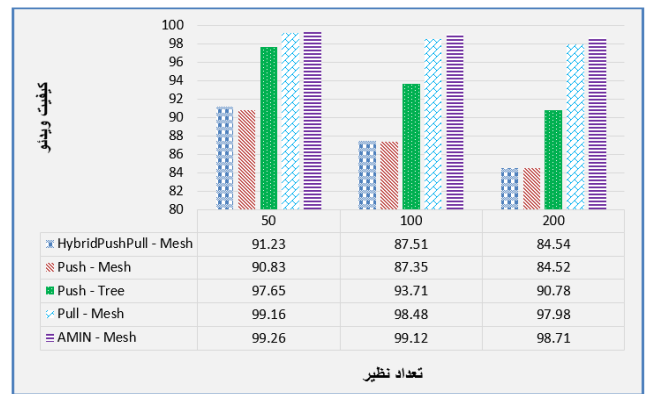
در این بخش به ارزیابی نتایج حاصل از شبیه‌سازی می‌پردازیم.

۱-۲-۵ کیفیت ویدئوی دریافتی

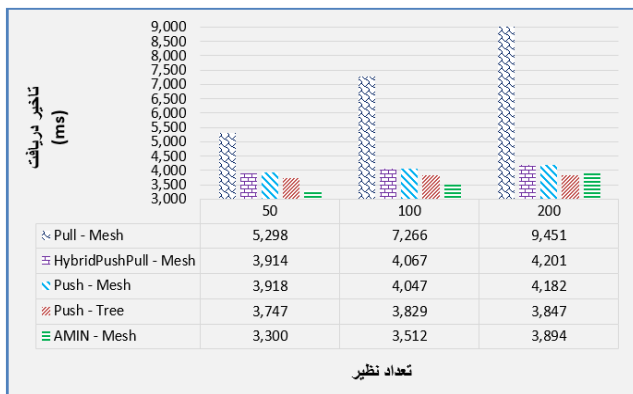
شکل ۱۰ کیفیت ویدئوی دریافتی در نظیرها را برای تعداد ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ نظیر نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، روش AMIN توانسته است با افزایش تعداد نظیرها، ضمن حفظ کیفیت ویدئوی دریافتی در نظیرها، کیفیتی مشابه روش Pull که هدف اصلی آن افزایش کیفیت است، داشته باشد و حتی در تعداد ۲۰۰ نظیر کیفیت بهتری را نشان دهد. علت این امر این است که روش AMIN بر خلاف Pull، با افزایش تعداد نظیرها تأخیر کمتری در مبادله فریم‌ها ایجاد می‌نماید. به عبارتی در روش Pull با افزایش تعداد نظیرها، تأخیر صف افزایش یافته و این تأثیر مستقیم بر روی کیفیت ویدئوی دریافتی در نظیرها می‌گذارد. در شکل ۱۱ نیز کیفیت ویدئوی دریافتی بر حسب سناریوهای مختلف Churn نشان داده شده است. نکته قابل توجه در خصوص روش AMIN، مقاومت بالای آن در هنگام ورود و خروج نظیرها نسبت به سایر روش‌ها است.



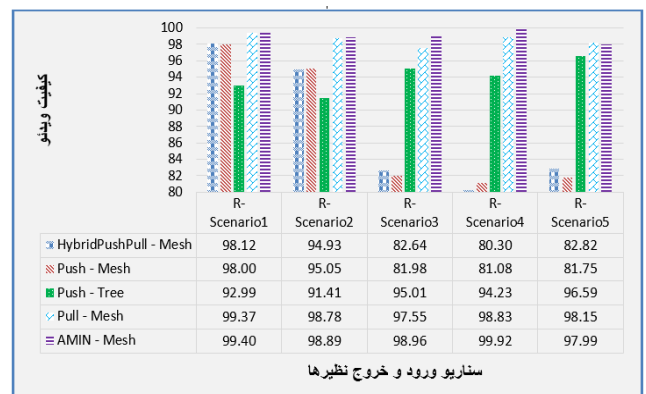
شکل ۱۳: تأخیر نقطه به نقطه به میلی‌ثانیه در روش‌های مختلف شبیه‌سازی شده بر حسب سناریوهای مختلف Churn.



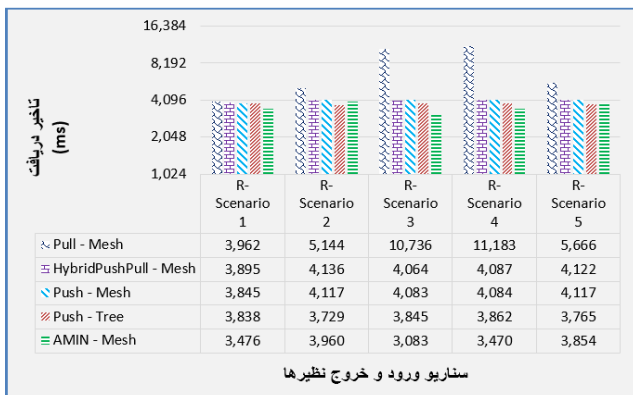
شکل ۱۰: کیفیت ویدئوی دریافتی در روش‌های مختلف شبیه‌سازی شده بر حسب تعداد متفاوت نظیرها.



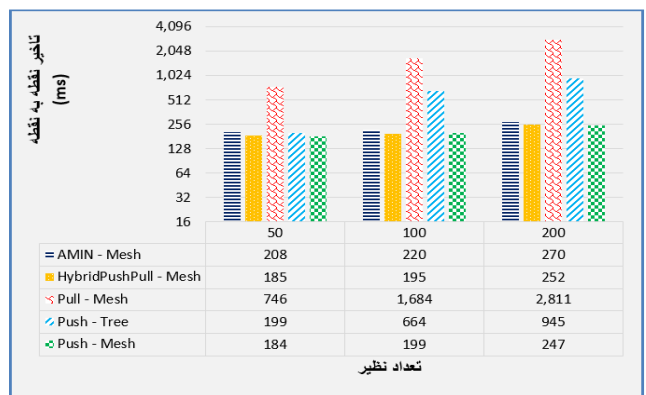
شکل ۱۴: تأخیر دریافت به میلی‌ثانیه در روش‌های مختلف شبیه‌سازی شده بر حسب تعداد نظیرها.



شکل ۱۱: کیفیت ویدئوی دریافتی در روش‌های مختلف شبیه‌سازی شده بر حسب سناریوهای مختلف Churn.



شکل ۱۵: تأخیر دریافت به میلی‌ثانیه در روش‌های مختلف شبیه‌سازی شده بر حسب سناریوهای مختلف Churn.



شکل ۱۲: تأخیر نقطه به نقطه به میلی‌ثانیه در روش‌های مختلف شبیه‌سازی شده بر حسب تعداد نظیرها.

۵-۲-۲ تأخیر نقطه به نقطه

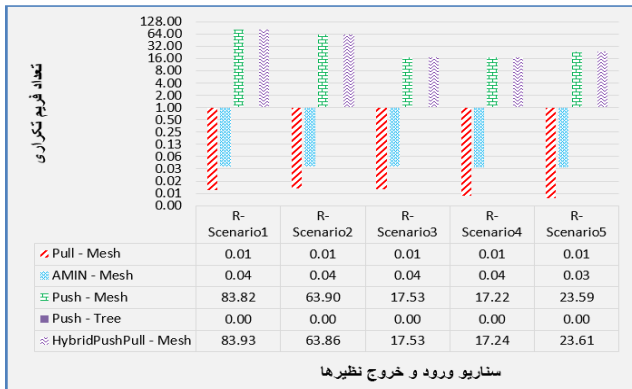
روش‌ها مبادله نمایند. اثر این کاهش تأخیر بر روی کیفیت ویدئوی دریافتی در شکل‌های قبل مشهود است.

با بررسی شکل ۱۳ نیز به این نتیجه واضح می‌رسیم که روش AMIN حتی در هنگام پویابودن شدید شبکه نیز توانسته است کارایی خود را حفظ نماید. باز هم دلیل این امر این است که یک نظیر فقط به یک نظیر همسایه خود جهت دریافت فریم‌های مورد نیازش وابسته نیست. به عبارتی، یک نظیر فریم‌های متفاوت را از نظیرهای همسایه مختلفی دریافت می‌نماید، در نتیجه خروج ناگهانی یک نظیر تأثیر چندانی بر روی عملکرد آن ندارد. همچنین بر خلاف Push، با استفاده مؤثر از پهنای باند محدود بین نظیرها نیز سعی می‌کند تأخیر را تا حد ممکن کاهش دهد.

۵-۲-۳ تأخیر دریافت

شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نیز از زاویه دیگر مقدار نوع دیگری از تأخیر به نام

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های قابل سنجش در مبادله جریان ویدئوی زنده، مقدار تأخیر نقطه به نقطه می‌باشد، زیرا این شاخص نشان می‌دهد روش مبادله فریم‌ها حفظ کیفیت ویدئوی دریافتی را با چه اندازه تأخیر فراهم آورده است. اگرچه خود تأخیر نیز بر روی کیفیت ویدئوی دریافتی هنگامی که از ساختار GOP استفاده شود تأثیر مستقیمی دارد، اما مهم این است که روش با حفظ یا کاهش این پارامتر کیفیت ویدئو را حفظ نماید. بر اساس شکل ۱۲، روش AMIN کمترین میزان تأخیر نقطه به نقطه را ایجاد نموده است. نظیرها در این روش با کاهش یک مرحله از روش Pull، استفاده بهینه از پهنای باند در مقایسه با روش Push و تصمیم‌گیری سریع‌تر در مقایسه با روش ترکیبی مورد مقایسه، می‌توانند با کمترین میزان تأخیر ممکن فریم‌ها را بر روی پهنای باند آزادتری نسبت به سایر



شکل ۱۷: تعداد فریم‌های تکراری دریافتی در روش‌های مختلف شبیه‌سازی شده بر حسب سناریوهای مختلف Churn.



شکل ۱۶: تعداد فریم‌های تکراری دریافتی در روش‌های مختلف شبیه‌سازی شده بر حسب تعداد نظیرها.

جدول ۷: وضعیت حافظه P و سه همسایه آن در خصوص GOP M.

رشته بیتی	GoP	نظیر
۱۰۱۰۰۱۰۱۰۰۱	GoP_P M	P
۱۰۱۱۰۱۰۱۱۰۱۱	GoP_Q ₁ M	Q ₁
۰۱۱۰۱۱۰۰۱۱۰۱	GoP_Q _r M	Q _r
۱۱۱۰۱۰۱۱۰۰۱۰	GoP_Q _r M	Q _r

شاخص اصلی را که همان کیفیت تصویر است نشان می‌دهد. میزان درصد بهبود برای نظیرهای ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ عدد متوسط‌گیری شده است. همچنین در بخش سناریوهای Churn نیز این متوسط‌گیری در بین پنج سناریوی مختلف به دست آمده است.

۵-۲-۵ مطالعه موردی

برای درک بهتر این بخش به ذکر یک مثال می‌پردازیم. شکل ۴ را در نظر بگیرید. در این شکل فرض می‌کنیم نظیر P وضعیت حافظه خود در خصوص GOP شماره M که مایل به دریافت کل یا بخشی از آن است را به نظیرهای همسایه‌اش ارسال می‌کند و منتظر دریافت فریم‌های مورد نیاز خود می‌ماند. جدول ۷ وضعیت نظیر P و همسایه‌های آن را در خصوص این GOP نشان می‌دهد. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، بیت ۱ در رشته بیتی نشان‌دهنده وجود فریم در حافظه محلی و بیت صفر نشان‌دهنده عدم وجود آن فریم و نیاز به دریافت آن در آینده نزدیک یا دور بسته به محل نقطه پخش می‌باشد. همچنین فرض می‌کنیم بر اساس محاسبات انجام‌شده توسط نظیر P، نظیرهای Q₁ و Q_r به ترتیب راست به چپ دارای کمترین تا بالاترین میزان اولویت (بیشترین تا کمترین میزان همکاری را با نظیر P در مبادلات قبلی بین خود داشته‌اند) برای ارسال فریم به نظیر P می‌باشند و به دلیل دریافت این اعداد توسط همه آنها، همگی از این اولویت‌ها باخبر هستند. بر اساس مطالب بیان‌شده، نظیرهای Q₁ و Q_r نیز از وضعیت حافظه یکدیگر مطلع هستند، زیرا BMS این دو توسط نظیر P پس از صفر کردن بیت Direct برای طرف مقابل ارسال شده است. اکنون مثال را برای نظیر Q₁ و با توجه به جدول ۸ دنبال می‌کنیم. نکته حایز اهمیت این است که نظیری که BMS را با فیلد Direct=0 دریافت می‌کند، آن را به نظیر دیگری ارسال مجدد نخواهد کرد، هیچ BMS تکراری در شبکه منتشر نمی‌شود و یک BMS دریافتی به ارسال‌کننده آن باز پس فرستاده نمی‌شود.

در اولین قدم، در ردیف ۳ جدول ۸، نظیر Q₁ مقایسه‌ای بین وضعیت حافظه خود و نظیر P در خصوص فریم‌های GOP M انجام داده است.

جدول ۶: مقایسه درصدی بهبود روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها برای کیفیت ویدئو.

نسبت به روش ←	Hybrid	Push-Tree	Push-Mesh	Pull-Mesh
کیفیت ویدئو	۶۱۰۱	۷۵۳	۱۴۱۳	۱۶۶

تأخیر دریافت را نشان می‌دهند. با توجه به این که کاهش تأخیر نقطه به نقطه اثر مستقیم روی این شاخص دارد، لذا همان دلایل مطرح‌شده در خصوص نتایج این دو نمودار نیز صادق هستند. تفاوت عمده این شاخص با شاخص تأخیر نقطه به نقطه در این می‌باشد که در تأخیر دریافت، تأخیرهای ناشی از قرارگرفتن فریم‌ها در صف ورودی و خروجی نظیرها، پردازش آنها، ارسال و دریافت در فرستنده و گیرنده‌های میانی و همچنین خود مقدار تأخیر نقطه به نقطه نیز لحاظ شده است. به عبارتی، هر چه میزان تأخیر صف کمتر باشد، مقدار تأخیر دریافت نیز کاهش خواهد یافت. تأخیر صف زمانی کاهش می‌یابد که نظیرها با ازدحام بسته‌های ارسالی مورد درخواست همسایه‌های خود مواجه نشوند.

این نشان می‌دهد روش AMIN توانسته است با مدیریت صحیح تعداد فریم‌های ارسالی در شبکه، طول صف نظیرها را کاهش داده و در نتیجه میزان کلی تأخیر دریافت را کاهش دهد. نکته قابل توجه در این پارامتر این است که در دل زمان دریافت تأخیرهای ناشی از مواردی همچون تصمیم‌گیری برای انتخاب فریم قابل ارسال، زمان لازم برای تصمیم‌گیری این که به کدام نظیر همسایه باید فریمی ارسال شود، تأخیر ناشی از اجرای الگوریتم مورد استفاده و خود تأخیر نقطه به نقطه نهفته هستند. بنا بر تمامی موارد فوق، روش AMIN به دلایل متعدد از جمله بهینه‌سازی پروسه تصمیم‌گیری و استفاده بهینه از توانمندی نظیرها در پردازش و استفاده مفید از پهنای باند، میزان این تأخیر را به طور چشم‌گیری کاهش داده که نتیجه آن افزایش کیفیت ویدئوی زنده دریافتی می‌باشد.

۵-۲-۴ تعداد فریم‌های تکراری دریافتی

سؤال مهمی که قابل طرح می‌باشد این است که AMIN نتایج فوق را با چه تعداد تکرار از فریم‌ها حاصل نموده است. دو شکل ۱۶ و ۱۷ وضعیت تعداد فریم‌های تکراری دریافت‌شده در روش‌های مختلف را نشان می‌دهند. همان‌گونه که از نتایج این دو شکل مشخص است روش پیشنهادی توانسته است با کمترین میزان تعداد فریم تکراری ممکن کیفیت ویدئوی مناسب همراه با تأخیر کم را فراهم نماید.

در پایان، جدول ۶ میزان متوسط درصد بهبود روش AMIN نسبت به روش‌های مشابه در حالات مختلف شبیه‌سازی‌های انجام‌شده برای

جدول ۸: مقایسه در نظیر همسایه Q_i برای GOP M.

عملیات	I	B_1	B_r	P_1	B_r	B_r	P_r	B_s	B_r	P_r	B_r	B_r
GoP_Q, M	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱
GoP_P M	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱
$S_i = \text{MXoR}(\text{GoP_Q_M}, \text{GoP_P_M})$	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰
مقایسه با نظیر Q_r												
GoP_Q, M	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰
$S_r = \text{MXoR}(S_i, \text{GoP_Q_M})$	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰
مقایسه با نظیر Q_s												
GoP_Q, M	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱
$S_s = \text{MXoR}(S_r, \text{GoP_Q_M})$	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

کرد. اگرچه این ممکن است نامطلوب به نظر برسد، ولی از طرف دیگر می‌تواند باعث بهبود کیفیت پخش در نظیر P در صورت عدم دریافت فریم F در P از Q_i به دلایل مختلف از جمله خرابی لینک، اعوجاج، نویز و از این قبیل شود.

۶- نتیجه‌گیری

روش پیشنهادی این تحقیق با نام AMIN به گونه‌ای عمل می‌کند که ضمن حفظ و استفاده بهینه از پهنای باند آزاد بین نظیرها، تأخیر را نیز کاهش می‌دهد. به عبارتی، برخلاف روش‌های سنتی موجود، این دریافت‌کننده BMS است که جهت کاهش تأخیر تلاش می‌کند تا فریم‌های جافتاده همسایه‌اش (فرستنده BMS) را جبران نماید به گونه‌ای که آن نظیر فریم‌های تکراری نگیرد. نتایج این تحقیق را می‌توان به طور خلاصه به مواردی مانند: کیفیت بالاتری از ویدئوی زنده در نظیرها به دلیل پایین‌آمدن تأخیر مبادله فریم‌ها حاصل شد، کاهش تأخیر نقطه به نقطه به دلیل کاهش پهنای باند مصرفی و عدم استفاده صرف از روش Pull می‌باشد، کاهش مصرف پهنای باند به دلیل عدم ارسال فریم‌های تکراری متعدد همانند روش Push می‌باشد، برخلاف روش‌های پیشین، روش معرفی‌شده هیچ یک از معایب دو روش پایه را ندارد، برخلاف روش‌های ترکیبی، نیازی به تجمیع ناکارآمد دو الگوریتم پایه در قالب یک روش ترکیبی نیست، برخلاف روش‌های مشابه نیازی به استفاده از روش‌های اضافی مانند کدینگ شبکه که باعث ایجاد سربار اجرایی می‌شوند نیست، برخلاف برخی روش‌های اخیر، نیازی به شناسایی نظیرهای ثابت و ماندگار در شبکه ندارد. این تحقیق استفاده از نظیرهای ثابت و ماندگار در شبکه به عنوان نظیرهای ساختار درختی را یک نقطه ضعف برای روش‌های موجود می‌داند، زیرا انتخاب چنین نظیرهایی هم سربار اجرایی بالایی دارد و هم در شبکه‌های سیار یک فرض نسبتاً محال است، روش در حالت وجود Churn در شبکه و در چهار سناریو کامل لحاظ شده مقاومت مناسبی را از خود نشان داده است. بنابراین نتیجه کلی که حاصل می‌شود این است که روش پیشنهادی این تحقیق توانسته است حداقل میزان از دست رفتگی کیفیت تصویر را در نظیرهای شبکه توری فراهم آورد که این هدف اصلی تمام سیستم‌های مبتنی بر ارسال جریان زنده ویدئویی است.

مراجع

- [1] J. Li, "On peer-to-peer (P2P) content delivery," *Peer-to-Peer Networking and Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 45-63, 2008.
- [2] M. R. Civanlar, O. Ozkasap, and T. Celebi, "Peer-to-peer multipoint video conferencing on the internet," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 20, no. 8, pp. 743-754, Sept. 2005.

برای مثال فریم P_1 در این نظیر وجود دارد، در حالی که نظیر P آن را ندارد (خروجی تابع MXoR یک شده است). بنابراین این فریم به عنوان یک فریم قابل ارسال از نظیر Q_i به نظیر P در نظر گرفته می‌شود. همین مقایسه بین نظیر Q_i با نظیرهای Q_r و Q_s نیز به ترتیب در ردیف‌های ۵ و ۷ جدول بر اساس تابع MXoR معرفی‌شده در جدول ۲ به انجام رسیده است. خروجی جدول فوق نشان می‌دهد که نظیر Q_i قابلیت ارسال فریم‌های B_r ، P_r و B_r را به نظیر P دارد، ولی این نظیر فقط فریم P_1 را به نظیر P ارسال خواهد نمود، زیرا دو فریم دیگر توسط دو نظیر همسایه Q_r و Q_s که دارای اولویت بالاتری هستند به P ارسال خواهد شد. ارسال دو فریم دیگر نیز بر اساس مقایسه انجام‌شده بین دو نظیر دیگر محقق خواهد شد. همین عملیات در همه نظیرهای همسایه P به انجام می‌رسد و در نهایت نظیر P بدون متضرر شدن از ارسال کورکورانه الگوریتم Push و تأخیر الگوریتم Pull با کمترین تأخیر و میزان بسته تکراری دریافتی ممکن فریم‌های خود را دریافت خواهد کرد.

لازم به ذکر است حتی روش Pull نیز گاهی به دلیل تأخیرهای ناشی از ارسال پیام‌های کنترلی بین نظیرها ممکن است به نظیری فریم‌های تکراری ارسال نماید. این رویه برای همه نظیرهای داخل شبکه به طور مرتب به انجام می‌رسد تا زمانی که یک نظیر همه فریم‌های ویدئو را پخش نماید. به طور خلاصه اگر نظیر P دارای n همسایه Q_1, Q_2, \dots, Q_n باشد و نظیر P کمترین میزان مشارکت (بالاترین اولویت در ارسال) را بر اساس محاسبات انجام‌شده مبتنی بر حجم مبادله اطلاعات صورت‌گرفته تا کنون به نظیر Q_i داده باشد، این نظیر تنها در صورت تحقق یکی از حالات زیر فریم F را از میان همه همسایگان به سمت نظیر P ارسال خواهد نمود: بالاترین اولویت در ارسال را در بین نظیرهای همسایه P داشته باشد، در این حالت بدون توجه به وضعیت سایر نظیرها در خصوص داشتن یا نداشتن فریم F در حافظه خود، این نظیر فریم را برای نظیر متقاضی P ارسال خواهد نمود، بالاترین اولویت را ندارد، ولی پس از مقایسه حافظه خود با همه همسایه‌های P متوجه می‌شود که هیچ یک از آنها فریم F را ندارند. به عبارتی، نظیر Q_i تنها نظیری است که دارای فریم F می‌باشد.

بنابراین بدون توجه به وضعیت اولویت سایر نظیرها مجبور به ارسال این فریم به نظیر P است، بالاترین اولویت را ندارد ولی در BMS‌های دریافتی از برخی یا همه نظیرهای همسایه P که دارای اولویت بالاتری نسبت به آن هستند، اثری از وجود فریم F ندیده است. در این حالت ممکن است $\text{Rank}(Q_j) > \text{Rank}(Q_i)$ باشد و Q_j این فریم را به P ارسال کرده باشد، ولی هنوز آخرین وضعیت BMS آن به نظیر Q_i نرسیده است. در این حالت نظیر P فریمی تکراری از F را دریافت خواهد

- [24] R. Rodriguez-Sanchez, J. L. Martinez, G. Fernandez-Escribano, J. M. Claver, and J. L. Sanchez, "Reducing complexity in H.264/AVC motion estimation by using a GPU," in *Proc. 13th IEEE Int. Workshop on Multimedia Signal Processing, MMSP'11*, 6 pp., Hangzhou, China, 17-19 Oct. 2011.
- [25] M. Wang and B. Li, "R2: random push with random network coding in live peer-to-peer streaming," *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, vol. 25, no. 9, pp. 1655-1666, Dec. 2007.
- [26] Z. Xiangyang and H. Hassanein, "Treeclimber: a network-driven push-pull hybrid scheme for peer-to-peer video live streaming," in *Proc. IEEE 35th Conf. on Local Computer Networks, LCN'10*, pp. 368-371, Denver, CO, USA, 10-14 Oct. 2010.
- [27] M. Zhang, J. G. Luo, Z. Li, and S. Q. Yang, "A peer-to-peer network for live media streaming using a push-pull approach," in *Proc. of the 13th Annual ACM Int. Conf. on Multimedia*, pp. 287-290, Hilton, Singapore, 6-11 Nov. 2005.
- [28] F. Wang, Y. Xiong, and J. Liu, "mTreebone: a hybrid tree/mesh overlay for application-layer live video multicast," in *Proc. of IEEE 27th Int. Con. on Distributed Computing Systems, ICDCS 07*, pp. 49-49, Toronto, Canada 25-27 Jun. 2007.
- [29] J. Duhwan, H. Sumi, K. Eunsam, and L. Wonjun, "Adaptive push-pull protocols for P2P-based video streaming," *IEICE Trans. on Communications*, vol. E94-B, no. 10, pp. 2759-2762, Oct. 2011.
- [30] L. Renato, A. Russo, and D. Carra, "On some fundamental properties of P2P push/pull protocols," in *Proc. 2nd Int. Conf. on Communications and Electronics, ICCE'08*, pp. 67-73, Hoi An, Vietnam, 4-6 Jun. 2008.
- [31] A. Ghanbari, H. R. Rabiee, M. Khansari, and M. Salehi, "PPM-a hybrid push-pull mesh-based peer-to-peer live video streaming protocol," in *Proc. IEEE 21st Int. Conf. on Computer Communications and Networks*, 8 pp., Munich, Germany, 30 Jul.-2 Aug. 2012.
- [32] M. Zhang, Y. Tang, L. Zhao, J. G. Luo, and S. Q. Yang, "Gridmedia: a multi-sender based peer-to-peer multicast system for video streaming," in *Proc. Int. Conf. on Multimedia and Expo, ICME'05*, pp. 614-617, Amsterdam, Netherlands, 6-6 Jul. 2005.
- [33] A. Russo and R. Lo Cigno, "Delay-aware push/pull protocols for live video streaming in P2P systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Communications, ICC'10*, 5 pp., Cape Town, South Africa, 23-27 May 2010.
- [34] H. B. T. Lan and H. S. Nguyen, "A low-delay push-pull based application layer multicast for P2P live video streaming," in *Proc. 3rd Int. Conf. on Knowledge and Systems Engineering, KSE'11*, pp. 104-111, Hanoi, Vietnam, 14-17 Oct. 2011.
- [35] Z. Li, Y. Yu, X. Hei, and D. H. K. Tsang, "Towards low-redundancy push-pull P2P live streaming," in *Proc. of the 5th International ICST Conf. on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness*, 7 pp., HongKong, 28-31 Jul. 2008.
- [36] D. Qiu and R. Srikant, "Modeling and performance analysis of BitTorrent-like peer-to-peer networks," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 34, no. 4, pp. 367-378, Oct. 2004.
- [37] S. Xie, B. Li, G. Y. Keung, and X. Zhan, "Coolstreaming: design, theory, and practice," *IEEE Trans. on Multimedia*, vol. 9, no. 8, pp. 1661-1671, Dec. 2007.
- [38] B. Li, *et al.*, "Inside the new coolstreaming: principles, measurements and performance implications," in *Proc. the 27th IEEE Conf. on Computer Communications, INFOCOM'08*, pp. 1031-1039, Phoenix, AZ, USA, 13-18 Apr. 2008.
- [39] C. Y. Keong, P. K. Hoong, and C. Ting, "Efficient hybrid push-pull based P2P media streaming system," in *Proc. IEEE 17th Int. Conf. on Parallel and Distributed Systems*, pp. 735-740, Tainan, Taiwan, 7-9 Dec. 2011.
- [40] E. Kim, B. Kang, and C. Lee, "A hybrid push/pull streaming scheme using interval caching in P2P VOD systems," *IEICE Trans. on Information and Systems*, vol. 100-D, no. 3, pp. 582-586, Mar. 2017.
- [41] S. M. Ronaghi, "A hybrid push-pull overlay network for peer-to-peer video streaming," *International J. of Peer to Peer Networks*, vol. 6, no. 1, 9 pp., Feb. 2015.
- [42] C. Lee, S. Kim, and E. Kim, "Expediting P2P video delivery through a hybrid push-pull protocol," *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol. 15, no. 4, pp. 3-8, Nov. 2015.
- [43] H. Ayatollahi, M. Khansari, and H. R. Rabiee, "A push-pull network coding protocol for live peer-to-peer streaming," *Computer Networks*, vol. 130, pp. 145-155, Jan. 2018.
- [44] DENACAST. DENACAST: P2P video streaming simulation framework. 2011; Available from: http://www.omnetpp.org/omnetpp/doc_details/2260-denacast.
- [3] H. R. Ghaeini, B. Akbari, B. Barekatin, and A. Trivino-Cabrera, "Adaptive video protection in large scale peer-to-peer video streaming over mobile wireless mesh networks," *International J. of Communication Systems*, vol. 29, no. 18, pp. 2580-2603, Dec. 2015.
- [4] H. Ghaeini, B. Akbari, and B. Barekatin, "An adaptive packet loss recovery method for peer-to-peer video streaming over wireless mesh network," in *Emerging Technologies for Information Systems, Computing, and Management*, W.E. Wong and T. Ma, Editors, pp. 713-721, New York: Springer, 2013.
- [5] P. Goudarzi, "Scalable video transmission over multi-hop wireless networks with enhanced quality of experience using swarm intelligence," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 27, no. 7, pp. 722-736, Aug. 2012.
- [6] B. Barekatin, M. Aizaini Maarof, A. Ariza Quintana, and H. R. Ghaeini, "Performance evaluation of routing protocols in live video streaming over wireless mesh networks," *Jurnal Teknologi*, vol. 62, no. 1, pp. 85-94, May 2013.
- [7] H. T. T. Tran, Y. Won, and J. Kim, "An efficient hybrid push-pull methodology for peer-to-peer video live streaming system on mobile broadcasting social media," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, no. 2, pp. 2557-2568, 2017.
- [8] I. E. Richardson, *The H.264 Advanced Video Compression Standard*, 2 Ed., UK: John Wiley & Sons Ltd. p. 348, 2010.
- [9] B. Barekatin, D. Khezrimotlagh, M. Maarof, H. Ghaeini, A. Quintana, and A. Cabrera, "Efficient P2P live video streaming over hybrid WMNs using random network coding," *Wireless Personal Communications*, vol. 80, no. 4, pp. 1761-1789, 2015.
- [10] A. Bikfalvi, J. Garcia-Reinoso, I. Vidal, F. Valera, and A. Azcorra, "P2P vs. IP multicast: comparing approaches to IPTV streaming based on TV channel popularity," *Computer Networks*, vol. 55, no. 6, pp. 1310-1325, Apr. 2011.
- [11] A. S. Tanenbaum, *Computer Networks 4th ed.* Computer Networks. 2008: Dorling Kindersley Pvt Ltd.
- [12] A. Passarella, "A survey on content-centric technologies for the current internet: CDN and P2P solutions," *Computer Communications*, vol. 35, no. 1, pp. 1-32, Jan. 2012.
- [13] M. Meskovic, H. Bajric, and M. Kos, "Content delivery architectures for live video streaming: hybrid CDN-P2P as the best option," in *Proc. 5th Int. Conf. on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service*, pp. 26-32, Chamonix, France, 29 Apr.-4 May 2012.
- [14] J. A. Oliveira, F. Prado, F. M. de Lima, M. Rubinstein, and A. Sztajnberg, "Improving peer neighborhood on P2P video distribution networks using push/pull protocol," *Computer Communications*, vol. 61, Iss. C, pp. 17-33, May 2015.
- [15] B. Barekatin, D. Khezrimotlagh, M. A. Maarof, A. A. Quintana, and A. T. Cabrera, "GAZELLE: an enhanced random network coding based framework for efficient P2P live video streaming over hybrid WMNs," *Wireless Personal Communications*, vol. 95, no. 3, pp. 2485-2505, 2017.
- [16] C. G. Gulrel and M. Tekalp, "Peer-to-peer system design for adaptive 3D video streaming," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 5, pp. 108-114, May 2013.
- [17] B. Barekatin, *et al.*, "MATIN: a random network coding based framework for high quality peer-to-peer live video streaming," *PLoS ONE*, vol. 8, no. 8, Article No.:e69844, 17 pp., Aug. 2013.
- [18] H. Kai-Lung, *et al.*, "A novel scalable video streaming system on P2P networks," in *Proc. Int. Conf. on Computing, Networking and Communications, ICNC'13*, pp. 676-680, San Diego, CA, USA, 28-31 Jan. 2013.
- [19] X. Shen, H. Yu, J. Buford, and M. Akon, *Handbook of Peer-to-Peer Networking*, 1 ed, London: Springer, 2010.
- [20] A. Ghaffari Sheshjavani and B. Akbari, "An adaptive buffer-map exchange mechanism for pull-based peer-to-peer video-on-demand streaming systems," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, no. 5, pp. 7535-7561, Mar. 2017.
- [21] A. Russo and R. L. Cigno, "Delay-aware push/pull protocols for live video streaming in P2P systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Communications*, 5 pp., Cape Town, South Africa, 23-27 May 2010.
- [22] T. Sanguankotchakorn and N. Krueakampli, "A hybrid pull-push protocol in hybrid CDN-P2P mesh-based architecture for live video streaming," in *Proc. 19th Asia-Pacific Network Operations and Management Symp., APNOMS'17*, pp. 187-19, Seoul, South Korea, 27-29 Sept. 2017.
- [23] T. Ruso, C. Chellappan, and P. Sivasankar, "Ppsm: push/pull smooth video streaming multicast protocol design and implementation for an overlay network," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 75, no. 24, pp. 17097-17119, Oct. 2016.

بهزاد سلیمانی نیسیانی دکتری رشته مهندسی نرم‌افزار کامپیوتر خود را از دانشگاه کاشان در سال ۱۳۹۹ دریافت نموده و هم‌اکنون به عنوان سرباز فناوری در شرکت دانش‌بنیان آوای اطلاعات آریا در حال گذراندن دوره خدمت سربازی خود بر روی تشخیص ناسازگاری در پرونده‌های بیمه می‌باشد. حوزه تحقیقاتی که تا کنون در آنها پژوهش انجام داده و مقاله نیز انتشار داده است بیشتر شامل الگوریتم‌های داده‌کاوی در زمینه قواعد انجمنی، طبقه‌بندی و سیستم‌های پیشنهاددهنده بوده است. از دیگر زمینه‌های تحقیقاتی ایشان می‌توان به حوزه‌های مهندسی نرم‌افزار، هوش مصنوعی و سیستم‌های توزیع‌شده همانند شبکه‌های نظیر به نظیر و محاسبات ابری اشاره کرد. وی هم‌اکنون مدرس موسسه آموزش عالی صنعتی فولاد نیز می‌باشد و تا کنون به بیش از ۱۰ دانشجوی کارشناسی ارشد به عنوان استاد مشاور راهنمایی داده است.

نغمه فرهادیان مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در گرایش‌های مهندسی کامپیوتر نرم افزار و شبکه های کامپیوتری در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۸ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد و دولت آباد دریافت کرد. وی بیش از ۱۸ سال سابقه تدریس در حوزه کامپیوتر را داشته و زمینه های علاقه‌مندی وی شبکه‌های کامپیوتری می‌باشد.

بهرنگ برکتین به ترتیب در سال ۱۹۹۶ و ۲۰۰۱ موفق به کسب مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود در مهندسی نرم افزار کامپیوتر شد. وی بیش از ۲۴ سال تجربه در زمینه شبکه های کامپیوتری و امنیت اطلاعات دارد. وی به مدت ۲۰ سال عضو هیأت علمی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد است. وی دکترای و پسا دکترای خود را به در عرصه شبکه‌های رایانه‌ای به از ترتیب دانشگاه‌های UTM و Ryerson کانادا دریافت کرده است. علایق تحقیقاتی وی شامل شبکه‌های سیمی و بی‌سیم، NFV، VANETs، SDN، FANETs، NDN، IoT، شبکه‌های نظیر به نظیر، کدگذاری شبکه، پخش ویدئو، امنیت شبکه و شبکه‌های بی سیم مش با استفاده از کدگذاری شبکه است.

مجید هارونی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی کامپیوتر را در دانشگاه تکنولوژی مالزی تحت بورسیه وزارت علوم، فناوری و نوآوری مالزی به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۲ تکمیل کرد. ایشان در حال حاضر عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دولت آباد و سرپرست آزمایشگاه پردازش چندرسانه‌ای ادراکی این واحد دانشگاهی است. پژوهش‌های مورد علاقه ایشان در زمینه پردازش چندرسانه‌ای ادراکی، بازشناسی الگو و بینایی ماشین و یادگیری عمیق است.