Archive of SID

به کارگیری ارتباطات چندکاربره‌ی دستگاه به دستگاه برای تحویل بی‌سیم محتوای ویدئویی در شبکه‌های سلولی

محمود دی‌پیر[۱]، دانشیار؛ فرزاد گویا[۲]، دانشجوی کارشناسی ارشد

۱- دانشکده مهندسی کامپیوتر - دانشگاه هوایی شهید ستاری- تهران- ایران – mdeypir@ssau.ac.ir
۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات- تهران- ایران – Farzad.Gouya@gmail.com

چکیده: سرویس ویدئو یکی از سرویس‌های مورد علاقه‌ی کاربران است که نقش مهمی در افزایش ترافیک شبکه دارد و بیشترین حجم ترافیک را به خود اختصاص داده است. اشتیاق فراوان کاربران به تماشای زنده‌ی تصاویر ویدئویی، توجه پژوهشگران را در سال‌های اخیر به شبکه‌های مجهز به ذخیره‌ی محتوا جلب کرده‌است. در این شبکه‌ها محتوای ویدئویی از قبل در دستگاه‌های لبه‌ی شبکه (ایستگاه‌های کوچک و دستگاه‌های هوشمند) ذخیره می‌شوند و زمانی‌که کاربران تقاضای این محتوا را دارند، به سرعت به آنها تحویل داده می‌شود. در این مقاله، یک روش جدید برای ارسال محتوای ویدئویی ارائه می‌دهیم که برپایه‌ی ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه و برآورده شدن فرصت چندارتباطی چندکاربره است. براساس طبیعت تصادفی محبوبیت محتوای ویدئویی و درخواست‌های تصادفی کاربران در شبکه، نویسندگان در این مقاله با استفاده از توزیع تصادفی محبوبیت کاربران، مسئله ی احتمال ارسال یک محتوا به چندین کاربر در یک لحظه را موردبررسی قرار می‌دهند. در این روش، تقاضای چندین کاربر توسط یک ارسال، پاسخ داده می‌شود. شبیه‌سازی‌های گسترده انجام‌شده در این تحقیق، تأثیر مهم توزیع تصادفی محبوبیت محتوای ویدئویی را موردبررسی قرار داده و نشان می‌دهد که به‌کارگیری ارتباط چندکاربره‌ی دستگاه‌به‌دستگاه، بهبود چشمگیری را در کارایی شبکه از نظر گذردهی دارد.

واژه‌های کلیدی: تحویل محتوا، ویدئو، دستگاه‌به‌دستگاه، ماشین‌به‌ماشین، شبکه‌ی سلولی، مدیریت ترافیک.

Exploiting Multi-Node Device-to-Device Communications for Wireless Video Delivery over Cellular Networks

Mahmood Deypir[1], Associate Professor; Farzad Gouya[2], MSc student

1- Faculty of Computer Engineering, Shahid Sattari Aeronautical University of Science and Technology, Tehran, Iran, Mdeypir@ssau.ac.ir
2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran, Farzad.Gouya@gmail.com

Abstract:. The video is a popular service among users which plays an important role in the networks traffic and has hugest volume of data compared to other types of communications. In recent years, the great willingness of users to watch live videos has attracted the researchers to the networks equipped with content saving devices in which the video content is saved in advance within the edge devices (small stations and smart devices) for fast delivery. In this paper, we have proposed a new method to send the video content based on the D2D connection and providing a multi-connection and multi-user opportunities. According to the random nature of the popularity of video content and the random demands of users in the network, the authors of the article use the random distribution of popularity among users to investigate the probability of sending the same content to some users simultaneously. In this method, the requests of some users are answered by one response. Extensive simulations results of the proposed method reveals the important effect of the random distribution of video content popularity and show that using multi-link D2D connections can cause significant improvements in the efficiency of the network in term of the network throughput.

Keywords: Content delivery, D2D, M2M, Cellular networks, Traffic management.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۵
تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۲۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۱۵
نام نویسنده مسئول:محمود دی پیر
نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران – مهرآباد جنوبی، انتهای خیابان ۲۰ متری شمشیری - دانشگاه هوایی شهید ستاری - دانشکده کامپیوتر.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

با افزایش روزافزون تقاضا برای سرعت داده بالا و حجم ترافیک زیاد، شبکه‌های سلولی دستخوش تغییرات چشمگیری در سالیان اخیر شده‌اند. شبکه نسل سوم برای سرعت داده‌ی بالا ارائه شده بود و در ادامه و در سیر تحولی شبکه‌های سلولی، شبکه نسل چهارم ارائه شد که تا حد زیادی جواب‌گوی نیاز کاربران برای سرعت داده بالا بود. شبکه‌های نسل چهارم در ادامه سیر تحولی سیستم‌های مخابرات سیار معرفی شد که در آن برای انتقال داده، تصویر و صدا از پروتکل IP در لایه شبکه استفاده می‌کند، و از سوئیچینگ بسته‌ای برای انتقال داده استفاده می کند. مشخصه سرعت در این نسل از مخابرات سیار، بسیار بالاتر از نسل-های قبلی است. چنان‌چه برای ارتباطات ثابت در حالت فروسو[1] سرعت تا ۱ گیگابیت‌درثانیه و برای ارتباطات سیار مثل اتومبیل یا قطار سرعت تا ۱۰۰ مگابیت‌برثانیه قابل دسترس است. همچنین سرعت بارگذاری در ارتباط فراسو نسبت به نسل‌های قبل تا ۳۰۰ مگابیت‌درثانیه افزایش یافته است. مشخصه مهم دیگر این نسل میزان تأخیر می‌باشد که در مقایسه با نسل‌های قبل بسیار پایین است. در LTE تاخیر کمتر از ۱۰ میلی ثانیه است که البته بسته به سناریوی شبکه با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی این مقدار کمتر و کمتر می‌شود [۱].

مزیت اصلی این شبکه نسبت به نسل‌های قبل، استفاده از پروتکل در هسته شبکه می‌باشد که در مقایسه با نسل‌های قبلی که از سیگنالینگ‌های معمولی استفاده می‌کردند بسیار انعطاف‌پذیرتر و کنترل ترافیک در آن به نسبت ساده‌تر انجام می‌شود. امکان ارائه سرویس‌های تصویری با سرعت بالا نظیر ویدئو کنفرانس در شبکه نسل کنونی هم زمان با اشباع طیف فرکانسی در آینده نزدیک غیرممکن خواهدبود. برای افزایش ظرفیت ترافیکی شبکه جهت سرویس‌دهی به کاربران، سیستم-های توزیع‌شده ذخیره تصاویر در سال‌های اخیر ارائه شده‌است [۲] که با روش‌های سنتی تفاوت چشم‌گیری دارد. در این تحقیق با معرفی جامع این سیستم‌ها، از قابلیت ارتباط دستگاه‌به‌دستگاه استفاده خواهیم‌کرد تا با استفاده از الگوریتم‌های بهینه مدیریت ترافیک ویدیوئی تا حد زیادی جوابگوی نیاز کاربران شبکه باشیم.

از زمان طرح ایده‌ی اصلی به‌کارگیری این شبکه‌ها در سال ۲۰۱۳ [۲]، تحقیقات صورت‌گرفته در این حوزه مسیرهای مختلفی را طی کرده‌است. تحلیل نظری قابلیت‌های این ارتباطات در مقاله [۳] ارائه شده است. این تحقیق [۳] نشان می‌دهد برای ارتباطات کوتاه برد دستگاه‌به‌دستگاه با قابلیت ذخیره‌سازی محتوا، میزان ظرفیت به جای افزایش چنددرصدی تا ۲۰ برابر می‌تواند افزایش یابد. در مقاله [۴] روش خوشه‌بندی ارائه شده است که در آن کاربران به‌صورت تصادفی در خوشه‌های مجزا دسته بندی می‌شوند و هر کاربر می‌تواند محتوای مورد درخواست خود را ازطریق یکی دیگر از کاربران در داخل همان خوشه دریافت کند. البته ممکن‌است محتوای مورد درخواست یک کاربر در داخل خوشه پیدا نشود و در این حالت، ایستگاه مرکزی به روش سنتی باید محتوای مورد درخواست را به کاربر ازطریق لینک ارتباط سلولی ارسال کند. ایده‌ی خوشه‌بندی بعدها در مقاله‌ی [۵] به‌صورت تئوری با استفاده از هندسه ی تصادفی بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که اگر محتوای مورد درخواست یک کاربر در داخل یک خوشه و ازطریق کاربر دیگر در دسترس باشد، حتی با وجود تداخل بین خوشه‌ای که از سایر خوشه‌ها به یک خوشه‌ی دلخواه تحمیل می‌شود، ظرفیت لینک ارتباطی به مقادیر نظری آن نزدیک می‌شود. و ازطرف‌دیگر، یک لینک ارتباطی مطمئن را فراهم می‌کند، زیرا در یک خوشه همواره ارتباطات کوتاه‌برد است و ازطرف‌دیگر شرایط فعال‌سازی لینک‌ها به‌صورت متمرکز تحت نظر یک شبکه‌ی مرکزی قابل کنترل است. شبکه‌ی ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه به منظور تحویل محتوای ویدئویی، ازمنظر بهینگی انرژی نیز بررسی شده‌است. برای اشاره به مهمترین تحقیقات در حوزه‌ی بهینگی انرژی می‌توان به مقالات [۶، ۷] استناد کرد. در این تحقیقات نشان داده‌شده است که ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه نه تنها باعث افزایش بهره‌وری فرکانسی کل در شبکه می‌شود، بلکه میزان مصرف انرژی برای تحویل محتوای ویدئویی به‌دلیل نزدیک‌بودن فواصل کاربران در شبکه تا حد چشمگیری بهبود می‌یابد. دلیل این امر، استفاده از توان ارسالی پایین‌تر است که در مقایسه با ارتباطات سلولی، که در آن کاربران از حداکثر توان خود برای برقراری ارتباط با ایستگاه مرکزی استفاده می‌کنند، در ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه به دلیل نزدیک‌بودن آنها به هم، این امکان وجود دارد تا برای ارسال محتوا از یک دستگاه به دستگاه دیگر از توان ارسالی پایین‌تر استفاده شود. همچنین در مقالات ذکرشده نشان داده شده‌است که نه تنها توان ارسالی کم باعث بهینگی انرژی مصرفی کم می‌شود، بلکه موجب کاهش تداخل فرکانسی بین ارتباطات نیز می‌گردد که این به نوبه‌ی خود باعث افزایش کیفیت خدمات می‌گردد. در یک مسیر تحقیقاتی دیگر مسئله‌ی مهم تشویق کاربران بررسی شده‌است [۸، ۹]. از آنجا که کاربران موجود در شبکه برای شرکت نمودن در ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه باید توجیه و یا تشویق شوند، شبکه‌ی مرکزی موظف است تا امکاناتی فراهم آورد تا به واسطه‌ی آن بتوان کاربران را برای شرکت در ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه به‌منظور تحویل محتوا تشویق نمود. در مقالات [۸، ۹] این مسئله موردبررسی قرار گرفته است که در [۸] با استفاده از مسئله‌ی رابطه‌ی اجتماعی کاربران و در [۹] با استفاده از تئوری بازی‌ها تلاش شده‌است تا راهی برای توجیه کاربران شرکت-کننده در ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه به منظور تحویل محتوا ارائه گردد. نتایج شبیه‌سازی‌ها در این مقالات نشان می‌دهد که با استفاده از روش-های توجیهی و تشویقی، شبکه‌ی مرکزی همواره می‌تواند با استفاده از کاربران موجود در شبکه، محتوا را به درخواست‌دهندگان ارسال کند و باعث افزایش بهره‌وری فرکانسی شبکه گردد.

۱-۱- کارهای مرتبط

پیشگامان اصلی در حوزه‌ی شبکه‌های تحویل محتوا مبتنی بر زیرساخت شبکه‌های سلولی، پس از معرفی معماری اصلی این ایده در مقاله‌ی [۲]، تحلیل جامعی روی ابعاد مختلف به‌کارگیری ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه برای تحویل محتوای ویدئویی در مقاله‌ی [۴] کردند که در این بخش به

www.SID.ir

Archive of SID

جزئیات اصلی این مقاله و روش‌های ارائه شده در آن، می‌پردازیم. در این مقاله [۴] به‌طور مشخص از روش خوشه‌بندی برای تحویل محتوای ویدئویی استفاده شده‌است که در آن کاربران به‌طور تصادفی در خوشه‌ها حضور پیدا می‌کنند که هرکدام یک محتوای ویدئویی محبوب را از قبل در خود ذخیره کرده‌اند. هدف نهایی در این مقاله افزایش ظرفیت به منظور تحویل محتوای ویدئویی به کاربران در کل شبکه می‌باشد. دلیل استفاده از این‌گونه روش‌ها جهت تحویل محتوای ویدئویی این است که روش‌های سنتی با بهینه‌سازی‌های صورت گرفته در لایه‌ی فیزیکی شبکه، قادر به پاسخگویی این همه نیاز در حوزه‌ی ترافیک به کاربران شبکه نیستند. از طرف دیگر طیف فرکانسی محدود است و کاهش اندازه ی سلول‌ها نیازمند هزینه‌ی بالایی است. در معماری معرفی شده در مقاله‌ی [۴]، ایستگاه مرکزی از همه‌ی تراکنش‌های بین کاربران آگاهی کامل دارد و با استفاده از مانیتورکردن درخواست‌های کاربران، می‌تواند محتوای موردنظر درخواست آنها را با استفاده از ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه به آنها تحویل دهد. به‌طورکلی ایده‌های اصلی این مقاله بدین شرح هستند: نخست، یک معماری جدید برای تحویل محتوای ویدیوئی در شبکه سلولی ارائه کرده‌است که برپایه‌ی ذخیره محتوا و تحویل آن در مواقع موردنیاز کاربران است. دوم، شرایط فیزیکی سیستم بسیار ساده درنظر گرفته شده‌است. سوم، از تمام تداخل‌ها صرف‌نظر شده است. چهارم، سلول به‌صورت مربعی درنظر گرفته شده‌است و سلول به خوشه-های مجازی تقسیم‌بندی شده‌است. همچنین در هر خوشه فقط یک ارتباط D2D می‌تواند برقرار باشد. یکی از پارامترهای مهم سیستم محاسبه اندازه‌ی خوشه می‌باشد که با استفاده از توان بهینه فرستنده D2D ممکن می‌باشد.

از دیدگاه سیاست‌های ذخیره سازی محتوا، در مقاله‌ی مذکور از روش *"ذخیره‌برنامه‌ریزی‌شده"* استفاده شده است. بدین صورت که، ایستگاه مرکزی از موقعیت تمام دستگاه‌ها قبل از اینکه درخواستی از طرف یک کاربر صادر شود، آگاهی کامل دارد. در این حالت محبوب‌ترین محتوای ویدئویی در حافظه‌ی کاربران شبکه ذخیره می‌شود. به دلیل محدودیت در حافظه‌ی فیزیکی دستگاه‌های شرکت کننده در این ارتباطات، هر دستگاه تنها یک محتوای ویدئویی را در خورد ذخیره می کند. ذخیره‌ی بیش از یک فایل در هر کاربر یک امر بدیهی است و تأثیر چندانی در نتایج ندارد. لذا در این سیاست، هر کاربر موجود در داخل خوشه، تنها یک فایل از فایل‌های موجود در کتاب‌خانه را که محبوب‌ترین فایل‌ها هستند، درخود ذخیره می‌کند. بدین‌منظور کاربر اول فایل اول، کاربر دوم فایل دوم و به‌همین‌ترتیب از کتاب‌خانه را ذخیره می‌کنند. نحوه‌ی شماره‌گذاری کاربران نیز به‌صورت دلخواه صورت می‌گیرد و هیچ سیاستی خاصی برای نامگذاری فایل‌ها در این سیستم وجود نخواهدداشت.

- **ذخیره‌ی تصادفی:** هر دستگاه به‌صورت تصادفی یکی از فایل‌های ویدئویی در کتاب‌خانه را در خود ذخیره می‌کند. طبیعت تصادفی بودن ذخیره‌ی محتوا به توزیع زیتا برمی‌گردد که در آن براساس توزیع زیتا، اعداد تصادفی (به‌عنوان درخواست کاربران) تولید می‌شوند و به عنوان محتوای موردرخواست کاربران در شبکه تلقی می‌شوند. در این روش نیز ایستگاه مرکزی از تمام محتوای ذخیره‌شده در کاربران اطلاع دارد.

در واقع الگوی درخواست و محبوبیت فایل‌های ویدئویی را می‌توان با توزیع زیتا مدل کرد. اصولاً توزیع زیتا داده‌هایی را می‌تواند توصیف کند که وقتی رتبه هر قلم داده‌ای را بر حسب فرکانس رخداد آن، به صورت یک منحنی رسم می‌کنیم، شکل نمودار در هر دو محور عمودی و افقی به‌صورت کشیده، باشد. کشیده‌شدن نمودار به این معنی است که تعداد کمی قلم داده‌ای داریم که رتبه بسیار بالایی دارند و همچنین تعداد بسیار زیادی قلم داده‌ای داریم که رتبه بسیار پایینی دارند. در عوض تعداد اقلام داده‌ای که رتبه متوسطی دارند، نرمال است یعنی نه کم و نه زیاد. مثلاً توزیع زیتا می‌تواند کلمات یک زبان مانند انگلیسی را مدل کند چون تعداد کمی کلمه مانند and و the وجود دارند که فرکانس تکرارشان بسیار بالا است و درنتیجه رتبه بالایی دارند. از طرفی تعداد بسیار زیادی کلمه داریم که کم و یا به ندرت استفاده می‌شوند و البته به‌طور متوسط کلماتی هم داریم که کاربردشان نه خیلی زیاد و نه خیلی کم هستند. در مورد فایل‌های ویدئویی همین رفتار انتظار می‌رود. یعنی تعداد اندکی فایل ویدئویی دارای رتبه بسیار بالایی هستند ولی تعداد بسیاری فایل ویدئویی با رتبه پایین داریم. اما تعداد فایل‌های ویدئویی با رتبه متوسط، نرمال است. بنابراین می‌توان گفت که درخواست فایل‌های ویدئویی از توزیع زیتا تبعیت می‌کند. آزمایش‌هایی که بر روی داده‌های دو سایت توزیع فایل‌های ویدئویی معروف یوتیوب(YouTube) و داوم (Daum) انجام‌شده‌است[۱۷] این مسئله را تأیید می‌کند که درخواست فایل‌های ویدئویی از جانب کاربران یعنی میزان محبوبیت ویدئوها، از توزیع زیتا تبعیت می‌کند. نتایج شبیه‌سازی-ها در مقاله‌ی [۴] نشان می‌دهد که سیاست‌های ذخیره‌سازی محتوا برای مقادیر قابل ملاحظه‌ی ضریب زیتا، به لحاظ کارایی شبکه تفاوت چندانی باهم ندارند. جزئیات مربوط به شرایط جفت‌شدن دستگاه‌های هوشمند، درخواست‌ها و خوشه‌بندی و ویژگی‌های آن به شرح زیر است:

- یک توزیع مناسب برای توصیف آمارگان فایل‌های پربازدید در نظر گرفته شده‌است: دراین‌جا نیز از توزیع زیتا استفاده شده‌است.
- ارتباط دستگاه‌به‌دستگاه بین کاربر u (به‌عنوان فرستنده) و کاربر v (به‌عنوان گیرنده) زمانی فعال خواهدشد که اولاً فاصله فیزیکی آنها کمتر از حد یک آستانه باشد. ثانیاً فایل مورد

www.SID.ir

Archive of SID

درخواست کاربر v در حافظه‌ی کاربر u از قبل وجود داشته باشد (در این‌جا فرض شده است که‌کاربر v درخواست فایل ویدئویی را از شبکه دارد).

- برای محاسبه‌ی اندازه‌ی خوشه‌ها (همه خوشه‌ها اندازه‌ی یکسانی دارند) پارامترهای مختلفی به‌طور همزمان باید درنظر گرفته‌شوند: اگر m تعداد کل فایل‌های پربازدید باشد، هر کاربر تنها یک فایل را در خود ذخیره می‌کند. اندازه‌ی کوچک خوشه منجر به افزایش استفاده‌ی مجدد از طیف فرکانسی می‌شود که این به دلیل افزایش تعداد جفت‌های ارتباطی دستگاه‌به‌دستگاه است. اندازه‌ی بزرگ خوشه منجر به افزایش احتمال یافتن فایل مربوطه در خوشه می‌شود اما باعث کاهش استفاده‌ی مجدد از طیف فرکانسی می‌شود زیرا تعداد جفت های ارتباطی دستگاه‌به‌دستگاه کاهش می‌یابد (فرض شده است که در داخل هر خوشه تنها یک لینک ارتباطی دستگاه‌به دستگاه می‌تواند برقرار شود).
- پارامترهای تصمیم‌گیری اصلی، اندازه‌ی خوشه (برای هر دو سیاست ذخیره‌سازی، یعنی ذخیره‌ی برنامه‌ریزی‌شده و ذخیره‌ی تصادفی) و ضریب زیتا (برای سیاست ذخیره‌سازی تصادفی) هستند. با هدف بیشینه‌کردن تعداد لینک‌های لینک‌های ارتباطی دستگاه‌به‌دستگاه (یا بطور معادل بیشینه کردن تعداد جفت‌های دستگاه‌به‌دستگاه) در سلول، مقادیر بهینه‌ی اندازه‌ی خوشه و ضریب زیتا محاسبه شده‌اند.
- نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که تحرکت کاربران تأثیر چندانی در کارکرد سیستم ندارد.

مسئله‌ی خوشه‌بندی در اتباطات دستگاه‌به‌دستگاه در [۱۴] نیز مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله مسئله تداخلات در کانال ارتباطی مورد توجه قرار گرفته‌است و به‌این‌منظور برای هر خوشه از دستگاه‌ها، یک سرخوشه انتخاب می‌گردد که در زمان ارتباطات بین‌خوشه‌ای، استفاده از منابع مشترک را هماهنگ می‌کند. به‌این‌ترتیب می‌توان از طریق دستگاه‌های مختلف به‌طور همزمان، لینک‌های ارتباطی مطمئنی را به‌کار گرفت. در این روش که TFFS[۲] نام دارد می‌توان از دو مد اشتراکی متعامد و غیرمتعامد استفاده‌کرد که در زمان استفاده از ارتباطات چندلینکی از مد ارتباطی متعامد استفاده می‌شود. برای بیشینه کردن نرخ داده در دستگاه‌های موجود در هر خوشه از بردارهای پیش کدینگ به همراه بازخورد استفاده می‌گردد. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که این روش در شرایط نویزی و وجود تداخلات زیاد به خوبی عمل می‌کند. نقطه ضعف این روش را می‌توان درعدم توجه به میزان محبوبیت فایل های درخواستی کاربران جستجو کرد.

مسئله‌ی مدل‌سازی و ارزیابی روش‌های خوشه‌بندی به‌منظور بهینه‌سازی ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه در [۱۵] مورد توجه قرار گرفته‌است. در این مقاله تحلیلی صورت گرفته تا معیارهایی برای تعیین بیشترین تعداد دستگاه‌های ارسال‌کننده در یک خوشه مشخص شوند تا بهترین کارایی به‌دست آید. در مقاله [۱۶] ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه به دو صورت مستقیم و از طریق ایستگاه مرکزی بررسی شده‌اند. با توجه به اینکه انتخاب یکی از این دو حالت به فاصله دستگاه‌ها از هم وابسته است، یک مدل تحلیلی هیبرید به‌منظور تعیین موقعیت دستگاه‌ها با استفاده از فرآیند پواسن ارائه شده و تحلیل‌ها و ارزیابی‌های کارایی در این مورد انجام شده است. درنهایت از این تحلیل‌ها به‌منظور بهینه‌سازی اشتراک طیف[۳] در ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه استفاده شده‌است.

۱-۲- نوآوری اصلی

روش‌های ارائه‌شده در کارهای پیشین در حوزه‌ی تحویل محتوای ویدئویی با استفاده از ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه، از روش ارسال تک-لینکی بهره برده‌اند که در آن یک کاربر می‌تواند محتوای ویدئویی مورد درخواست یک کاربر دیگر را که در مجاورت آن قرار دارد، ارسال کند. در این مقاله یک روش جدید برای ارسال محتوای ویدئویی ارائه می‌دهیم که در آن یک کاربر می‌تواند به‌طور همزمان محتوای مورددرخواست چندین کاربر را به آنها ارسال کند. برای این‌کار با تمرکز بر مقاله‌ی [۴] که توسط پیشگامان این حوزه نوشته شده‌است، سامانه‌ی پیشنهادی را پیاده‌سازی کرده‌ایم. از روش خوشه‌بندی مشابه مقاله‌ی [۴] استفاده کرده و این مسئله را بررسی کرده‌ایم که آیا امکان درخواست یک محتوا توسط چندین کاربر وجود دارد یا خیر. با استفاده از شبیه‌سازی در محیط متلب، کارایی سامانه‌ی پیشنهادی را با مقاله‌ی [۴] مقایسه نموده‌ایم که نشان از بهبود چشمگیر کارایی شبکه‌ی تحویل محتوای ویدئویی مبتنی بر ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه است.

با اینکه مقاله‌ی [۴] ابعاد مختلف یک شبکه‌ی تحویل محتوای ویدئویی با استفاده از ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه را موردبررسی قرار داده است، ولی قابلیت ارسال همزمان یک محتوا به چندین کاربر بررسی نشده‌است. بطور کلی مسئله‌ی ارسال همزمان یک محتوا از یک کاربر به چندین کاربر در شبکه‌های ارتباطی دستگاه‌به‌دستگاه مبتنی بر خوشه بندی تا به‌حال بررسی نشده‌است. در این تحقیق می‌خواهیم عملیات صورت گرفته در داخل هر خوشه را توسعه دهیم و با استفاده از طبیعت تصادفی توزیع زیتا، درخواست کاربران را شناسایی کرده و با استفاده از ارتباطات چند کاربره‌ی دستگاه‌به‌دستگاه، یک محتوا را به‌طور همزمان به چندین کاربر ارسال کنیم. در روش پیشنهادی محبوبیت فایل‌ها پس از مدت زمان مشخص از روی تعداد درخواست‌های قبلی محاسبه می شود، میزان این محبوبیت ثابت نبوده و با گذر زمان تغییر می‌کند. بنابراین فایل‌های محبوب همیشه محبوب باقی نمی‌مانند و مسئله‌ی زمان به این صورت لحاظ می‌شود. تعداد M عدد فایل ویدیوئی مجبوب و پربازدید وجود دارد که قبلاً توسط آمارگان درخواست کاربران شناسایی

www.SID.ir

Archive of SID

شده‌اند و در اختیار ایستگاه مرکزی قرار گرفته‌اند. ایستگاه مرکزی با استفاده از لینک ارتباطی که با زیرساخت اصلی شبکه دارد (فیبر نوری) اقدام به دانلود این فایل‌ها در ساعاتی از شبانه‌روز که شبکه کمترین بار ترافیکی را دارد، می‌کند. پس از دانلود این فایل‌ها، ایستگاه مرکزی آن ها را بین کاربران شبکه توزیع می‌کند. هر کاربر تنها یک فایل پربازدید را در خود ذخیره می‌کند. محتوای محبوب قرار گرفته در دستگاه‌ها، در صورت درخواست همزمان کاربران در یک اسلات زمانی، می‌توانند به صورت همزمان ارسال شوند. اگر به جای زمان‌های گسسته بازه‌های زمانی کوتاه را در نظر بگیریم، احتمال اینکه در یک بازه زمانی بیش از یک درخواست داشته باشیم بالا می‌رود زیرا فایل‌هایی که از قبل توسط ایستگاه مرکزی در دستگاه‌ها کپی شده‌اند فایل‌ها محبوب و پرتقاضایی هستند. درواقع منظور همزمانی در اسلات‌های زمانی کوچک مدنظر است.

سایر بخش‌های مقاله به شرح زیر می‌باشند: در بخش دوم، مدل سامانه، پارامترهای آن و فرمول‌بندی مسئله شرح داده می‌شود. در بخش سوم نتایج شبیه‌سازی به‌همراه پارامترهای آن و روش شبیه‌سازی ارائه می‌گردد و در بخش چهارم محتویات این مقاله خلاصه و جمع‌بندی می‌شود.

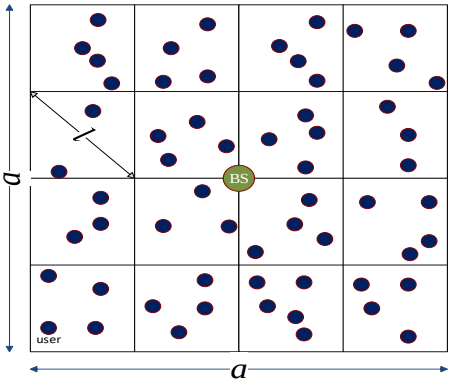
۲- مدل سامانه‌ی پیشنهادی و پارامترهای آن

در این بخش مدل سامانه‌ی پیشنهادی را معرفی و پارامترهای آن را بررسی می‌کنیم. شبکه‌ی تحت بررسی یک سلول مخابراتی است که دارای یک ایستگاه مرکزی است که از طریق یک فیبر نوری به زیرساخت اصلی شبکه متصل است که سیگنال‌های کنترلی را دریافت و ارسال می‌کند. تعداد n کاربر در داخل سلول با استفاده از توزیع یکنواخت توزیع شده‌اند. شکل ۱ مدل سامانه را نمایش می‌دهد. در این شکل، پارامتر a نشان‌دهنده‌ی ابعاد سلول است. پارامتر l فاصله مجاز برای هر ارتباط دلخواه دستگاه‌به‌دستگاه را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در سلول‌های امروزی منطبق بر شبکه نسل چهارم شعاع سلول‌ها متغیر است، در این تحقیق شعاع سلول تحت بررسی را برابر a کیلومتر در نظر می‌گیریم. تعداد M عدد فایل ویدیوئی محبوب و پربازدید وجود دارد که در قالب یک کتاب‌خانه مرتب شده‌است. این فایل‌های ویدئویی قبلاً توسط آمارگان درخواست کاربران شناسایی شده‌اند و به‌عنوان فایل‌های محبوب در اختیار ایستگاه مرکزی قرار گرفته‌اند. ایستگاه مرکزی با استفاده از لینک ارتباطی که با زیرساخت اصلی شبکه دارد (فیبر نوری) اقدام به دانلود این فایل‌ها در ساعاتی از شبانه‌روز که شبکه کمترین بار ترافیکی را دارد، می‌کند. پس از دانلود این فایل‌ها، ایستگاه مرکزی آن‌ها را بین کاربران شبکه توزیع می‌کند. به‌دلیل محدودیت حافظه‌ی هر دستگاه هوشمند، فرض می‌شود که هر کاربر تنها یک فایل پربازدید را در خود ذخیره می‌کند. تمام کاربران در خوشه‌ها فایل‌های یکسانی را در خود ذخیره می‌کنند. یعنی اگر به‌عنوان مثال دو کاربر در دو خوشه مجزا وجود داشته باشد، محتوای ذخیره شده دو کاربر برای هر دو خوشه یکسان است در حالی‌که کاربران باهم فرق دارند.

همان‌طور که در بخش قبلی اشاره شد، توزیع زیتا به عنوان یکی از مطرح‌ترین توزیع‌های تصادفی برای مدل‌سازی فایل‌های ویدئویی پربازدید، مورداستفاده قرارگرفته‌است و دراین‌جا نیز از آن استفاده می‌کنیم. رابطه‌ی توزیع زیتا برای فایل iام به‌صورت زیر است:

$$f_i = \frac{i^{-\gamma}}{\sum_{j=1}^{M} j^{-\gamma}} \qquad (۱)$$

در رابطه‌ی (۱)، اندیس i مربوط به فایل iام از کتاب‌خانه است. پارامتر M تعداد فایل‌های موجود در کتاب‌خانه را نشان می‌دهد. پارامتر γ مربوط به توزیع زیتا است که نقش کلیدی در تعیین محبوبیت فایل‌ها را به‌عهده دارد. هرچقدر مقدار این پارامتر بیشتر شود، نشانگر این است که تعداد خیلی محدودی از فایل‌های پربازدید، بیشترین محبوبیت را در بین کاربران دارند. ازطرف‌دیگر، هرچقدر مقدار این پارامتر کمتر باشد، محبوبیت فایل‌های ویدیوئی موجود در کتاب‌خانه شبیه هم خواهندبود و برای مقادیر خیلی خیلی کم، محبوبیت فایل‌ها به توزیع یکنواخت نزدیک‌تر می‌شود. یعنی همه‌ی فایل‌ها به یک اندازه در بین کاربران محبوب هستند. نحوه قرارگیری فایل‌ها در کتاب‌خانه به ترتیب محبوبیت آن‌ها است. یعنی فایل‌های با اندیس کمتر، بیشترین محبوبیت را در بین کاربران دارند. به‌طور مثال در رابطه (۱)، اگر مقدار i را برابر ۱ قرار دهیم، نشان‌دهنده‌ی این است که فایل شماره‌ی یک بیشترین محبوبیت را در بین کاربران دارد. بدیهی است که آخرین فایل موجود در کتاب‌خانه (یعنی فایل با اندیس M) کمتر محبوبیت را در بین کاربران دارد.



شکل ۱: مدل سامانه‌ی تحت‌بررسی به همراه خوشه‌های مجازی مربعی با اندازه‌ی یکسان در داخل آن

۲-۱- خوشه‌بندی سلول

تکنیک خوشه‌بندی در شبکه‌ها از دیرباز موردتوجه پژوهشگران و طراحان شبکه بوده است. در این تحقیق، از روش خوشه‌بندی کاربران استفاده می‌کنیم و تعدادی از کاربران را که تعداد آن‌ها مشخص نیست

www.SID.ir

Archive of SID

(کاربران همواره به‌صورت تصادفی در داخل خوشه‌ها قرار می‌گیرند)، به‌صورت یک خوشه درنظر می‌گیریم. محدوده‌ی هر خوشه، بسته به فاصله مجاز ارتباط دستگاه‌به‌دستگاه تعیین می‌شود. از آن‌جا که حداکثر فاصله‌ی مجاز برای ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه معادل اندازه‌ی هر خوشه است، بنابراین پارامتر l به هر محدوده‌ی پوشش خوشه‌ها نیز اطلاق می‌شود. برای مدیریت بهتر و سهولت در فرآیند شبیه‌سازی، خوشه‌ها را به‌صورت مربعی در نظر می‌گیریم. این فرض در مقالات مختلف استفاده‌شده است[۴].

۲-۲- ذخیره‌ی فایل‌های ویدئویی در دستگاه‌های هوشمند کاربران

همان‌طور که اشاره شد، در مدل پیشنهادی هر دستگاه هوشمند موبایل تنها یک فایل پربازدید را در خود ذخیره می‌کند. با استفاده از شبیه‌سازی‌ها نشان‌خواهیم‌داد که ذخیره‌ی همین تعداد محدود فایل ویدیوئی در دستگاه‌های موبایل به‌طور چشمگیری بار ترافیکی شبکه را کاهش می‌دهد و کارایی سامانه را بطور چشم‌گیری بهبود می‌بخشد.

۲-۳- فرآیند ارسال درخواست توسط کاربران

همان‌طور که اشاره شد، توزیع زیتا برای مدل کردن محبوبیت فایل‌های ویدیوئی مورداستفاده قرارمی‌گیرد. برای نشان دادن کارایی سیستم تحت بررسی، بدترین حالت را برای درخواست کاربران درنظر می‌گیریم. یعنی فرض می‌کنیم تمامی کاربران موجود در شبکه به‌طور همزمان و تصادفی درخواست فایل‌های ویدیوئی را دارند. اگر محتوای مورد درخواست کاربران در دستگاه‌های هوشمند داخل خوشه (دستگاه‌های هوشمند همسایه) موجود باشد (یعنی فایل مورد درخواست از قبل در حافظه‌ی حداقل یک دستگاه هوشمند ذخیره شده باشد)، فایل موردرخواست از طریق لینک ارتباطی بی‌سیم دستگاه‌به‌دستگاه به آن‌ها تحویل داده می‌شود. در غیر این‌صورت، فایل‌های مورد درخواست به‌صورت روش سنتی و از طریق ارتباطات سلولی با ایستگاه مرکزی به کاربران تحویل داده می‌شود. نکته‌ی مهم دیگر در جفت‌کردن دستگاه‌های هوشمند، پیدا کردن جفت با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند است به‌طوری‌که دستگاه‌ها می‌توانند بدون نیاز به ایستگاه مرکزی به‌صورت توزیع شده جفت‌های مدنظر خود را پیداکنند که این کار می‌تواند توسط الگوریتم‌های بهینه‌ی کشف جفت محقق‌شود [۱۰]. برای مدل‌سازی درخواست کاربران در این‌جا، هر کاربر یک عدد تصادفی مطابق توزیع زیتا تولید می‌کند که یک عدد صحیح بین ۱ تا M است. اعداد صحیح تصادفی تولید شده برای هر کاربر، نماینگر فایل موردرخواست هر کاربر از شبکه است. در این‌جا نقش پارامتر γ مشخص خواهدشد که در بخش نتایج شبیه‌سازی به تفصیل در مورد اثرات آن بحث خواهیم‌کرد.

۳- ارتباط چندکاربره‌ی دستگاه‌به‌دستگاه و فرمول‌بندی گذردهی کل شبکه

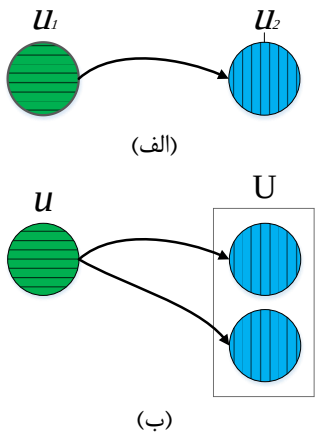
برای سادگی در بیان و توصیف روابط، روی یک خوشه‌ی تصادفی تمرکز می‌کنیم. انتخاب یک خوشه‌ی تصادفی فرض بدیهی است چون توزیع کاربران در کل شبکه یکنواخت است و اندازه‌ی تمام خوشه‌ها نیز باهم برابر است. بنابراین از دیدگاه احتمالاتی، شرایط حاکم بر خوشه‌ها از نظر تعداد کاربران و مکان قرارگیری آن‌ها یکسان است. خوشه‌ی تصادفی تحت‌بررسی را با c نشان می‌دهیم. از آن‌جا که ایستگاه مرکزی از تمام محتوای ذخیره شده در حافظه‌ی دستگاه‌های هوشمند آگاهی کامل دارد، پس از مشخص شدن درخواست‌ها توسط کاربران، اکنون باید فایل‌های ویدیوئی به کاربران ارسال شود. باید توجه داشته باشیم که طیف فرکانسی استفاده‌شده در ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه با لینک ارتباطی سنتی (بین کاربران و ایستگاه مرکزی) متفاوت است و این یعنی بین ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه و ارتباطات سلولی تداخلی وجود ندارد. این نوع تخصیص منابع فرکانسی به عنوان یکی از استانداردهای به‌کارگیری ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه در شبکه‌های مدرن پذیرفته شده‌است[۱].

شکل۲ مدهای ارتباطی تک‌لینکی و چندکاربره را در داخل خوشه، نشان می‌دهد. در این شکل خطوط افقی در داخل دایره‌ها نشان‌دهنده‌ی کاربر گیرنده و خطوط عمودی نشان‌دهنده‌ی کاربر فرستنده است. جهت پیکان نشان‌دهنده‌ی مسیر ارسال محتوا را نشان می‌دهد به‌طوریکه از سمت فرستنده خارج و به گیرنده وارد می‌شود. از آن‌جا که هر کاربر تنها یک درخواست را به‌صورت تصادفی تولید می‌کند، تنها یک پیکان ورودی به یک کاربر می‌تواند وجود داشته‌باشد. همان‌طور که در بخش۲ تشریح شد، بسته به محتوای ذخیره شده در حافظه دستگاه‌های هوشمند و درخواست‌های کاربران، تشکیل لینک‌های ارتباطی دستگاه‌به‌دستگاه کاملاً تصادفی است. اما به‌طورکلی یکی از دو حالت (الف) یا (ب) نشان داده‌شده در شکل، اتفاق می‌افتد. یعنی یا محتوای موردرخواست یک کاربر توسط تنها یک کاربر قابل‌ارسال است (در شکل۲ (الف) کاربر u_2 محتوای مورد درخواست خود را در حافظه‌ی کاربر u_1 پیدا می‌کند.)، و یا محتوای موردرخواست خود را در حافظه‌ی کاربر دیگر پیدا می‌کند و یا چندین کاربر به‌طور همزمان می‌توانند محتوای موردرخواست خود را در حافظه‌ی دستگاه دیگر پیداکنند (در شکل۲ (ب) گروهی از کاربران که با U نشان داده‌شده‌است، می‌توانند محتوای موردرخواست خود را در حافظه‌ی کاربر u پیداکنند).

مد ارتباطی در شکل۲ (الف) مربوط به مقاله‌ی[۴] و مد ارتباطی در شکل۲ (ب) مربوط به ارتباط چندکاربره‌ی دستگاه‌به‌دستگاه است که در این مقاله معرفی شده‌است. با توجه به این‌که تمرکز اصلی در این مقاله، روی ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه است، از کاربرانی که محتوای مورد‌درخواست خود را در داخل خوشه نمی‌توانند پیداکنند صرف‌نظر می‌کنیم و لذا این کاربران باید محتوای موردرخواست خود را از طریق لینک ارتباط سلولی دریافت‌کنند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: مدهای ارتباطی برای ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه: الف) مد ارتباطی تک‌لینکی دوکاربره، ب) مد ارتباطی چندکاربره‌ی دستگاه‌به‌دستگاه

تعداد کاربرانی که به‌طور تصادفی می‌توانند در مجموعه‌ی U قرار گیرند به عوامل مختلفی مانند، ضریب توزیع زیتا، تعداد فایل‌های ذخیره شده در حافظه‌ی دستگاه‌های هوشمند، و تعداد کاربران موجود در داخل خوشه بستگی دارد. بسته به فاصله‌ی قرارگیری کاندیدهای ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه در داخل هر خوشه، کیفیت لینک ارتباطی متفاوت است و لذا سرعت لینک ارتباطی برای همه‌ی کاربران ممکن است یکسان نباشد. در این‌جا از مدل افت مسیر استاندارد معرفی شده برای شبکه‌های نسل جدید و ارتباطات کوتاه‌برد [۱۱] به‌صورت زیر استفاده می‌کنیم:

$$P_r = P_t d^{-\alpha} \qquad (۲)$$

در رابطه‌ی(۲)، پارامتر P_t بیانگر توان ارسالی توسط فرستنده، پارامتر d نمایانگر فاصله گیرنده از فرستنده، و پارامتر α (آلفا) نمایان‌گر ضریب افت مسیر است که برای ارتباطات کوتاه‌برد ماشین‌به‌ماشین و دستگاه‌به‌دستگاه در بازه‌ی $۲٫۶ \le \alpha \le ۴$ تعریف شده‌است[۱۱]. این رابطه مقدار توان دریافتی در هر کاربر را با توجه به پارامترهای معرفی شده بیان می‌کند. بدیهی است که هرچقدر فاصله‌ی فرستنده و گیرنده کمتر باشد، مقدار توان دریافتی بیشتر خواهد بود و هرچقدر فاصله‌ی فرستنده و گیرنده بیشتر باشد، مقدار توان دریافتی در گیرنده کاهش پیدامی‌کند. به‌عبارت دیگر، مقدار توان دریافتی در هر کاربر، کیفیت لینک ارتباطی بی‌سیم را نشان می‌دهد. از آن‌جا که در سیستم، تداخل فرکانسی نداریم (فرض کرده‌ایم ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه روی همدیگر تداخلی ندارند. این فرض با استناد به تکنیک‌های تخصیص منابع، قابل دسترس است [۱۲])، سیگنال ارسالی توسط فرستنده بدون تداخل فرکانسی به دست گیرنده، می‌رسد. اما بااین‌وجود همیشه در سیستم‌های بی‌سیم، نویز وجود دارد که در این سیستم این پارامتر را مد نظر داریم. بافرض‌اینکه مقدار نویز موجود در سیستم و برای تمام ارتباطات دارای توزیع گوسی با واریانس مشخص σ می‌باشد، رابطه سیگنال‌به‌نویز به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$SNR = \frac{P_r}{\sigma} \qquad (۳)$$

پس به‌طور خلاصه، هر گیرنده بسته به فاصله‌ای که با فرستنده مطلوب خود در داخل خوشه دارد، مقدار سیگنال‌به‌نویز متفاوتی را تجربه خواهدکرد که پارامتر اصلی و نهایی در تعیین کیفیت لینک ارتباطی می‌باشد.

۳-۱- گذردهی کل شبکه

پس از به‌دست آوردن پارامتر سیگنال‌به‌نویز برای هر لینک ارتباطی دستگاه‌به‌دستگاه، با استفاده از رابطه‌ی معروف شانون، حداکثر سرعت قابل دسترس برای لینک ارتباطی بی‌سیم مستقیم را با پارامتر R نشان‌می‌دهیم که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = W \log_2(1+\mathrm{SNR}) \qquad (۴)$$

در رابطه‌ی (۴)، پارامتر W بیانگر پهنای باند اختصاص یافته به یک لینک دستگاه‌به‌دستگاه است که بر حسب هرتز بیان می‌شود. سرعت لینک ارتباطی بی‌سیم برحسب بیت بر ثانیه بیان‌می‌شود. همان‌طور که اشاره شد، کیفیت لینک ارتباطی برای تمامی کاربران به دلیل فواصل مختلف جفت‌ها در ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه لزوماً یکسان نیست. بنابراین مقدار سرعت لینک ارتباطی نیز برای کاربران مختلف یکسان نخواهد بود. رابطه‌ی (۴) به‌عنوان ظرفیت لینک ارتباطی نیز معرفی می‌شود[۱۳]. لذا از این به بعد سرعت لینک ارتباطی را با ظرفیت لینک ارتباطی یکسان می‌گیریم زیرا این دو، یک مفهوم مشترک را می‌رسانند. با محاسبه‌ی ظرفیت لینک ارتباطی بی‌سیم دستگاه‌به‌دستگاه برای یک لینک، اکنون می‌خواهیم گذردهی شبکه را فرمول‌بندی کنیم. فرض می‌کنیم تعداد کاربرانی که به‌طور همزمان تقاضای یک محتوای ویدئویی از کاربر u_i را دارند به‌صورت مجموعه‌ی $U_i = \{u_1.u_2 \dots .u_x\}$ تعریف می‌شود که در آن $i \neq \{1.2 \dots .x\}$ حداکثر سرعت قابل دسترس طبق نظریه‌ی شانون برای لینک ارتباطی $u_i - u_j$ است که آن را با R_{ij} نشان می‌دهیم. در این‌صورت حداکثر ظرفیت کل قابل دسترس برای فعال‌کردن کاربر u_i به‌عنوان فرستنده با T_{u_i} بیان می‌شود و برابر است با:

$$T_{u_i} = \sum_{j=1}^{x} R_{ij} \qquad (۵)$$

اگر تعداد کاربران فرستنده‌ی فعال در داخل هر خوشه برابر با N_i باشد و این کاربران را با مجموعه‌ی $Z_i = \{u_1.u_2 \dots .u_{N_i}\}$ نشان دهیم، به‌طوریکه $Z_i \cap U_i = \emptyset$ باشد، حداکثر ظرفیت قابل دسترس برای یک خوشه برابر است با:

$$T_c = \sum_{z=1}^{N_i} T_{u_z} = \sum_{z=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{x} R_{ij} \qquad (۶)$$

با توجه به اینکه کل سلول به‌صورت خوشه‌های هم‌اندازه تقسیم شده است، ظرفیت نهایی کل شبکه برای کل سلول را با T_{cell} نشان می‌دهیم و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

www.SID.ir

Archive of SID

$$T = \sum_{c=1}^{Q} T_c = \sum_{c=1}^{Q}\sum_{z=1}^{N_i} T_{u_z} = \sum_{c=1}^{Q}\sum_{z=1}^{N_i}\sum_{j=1}^{x} R_{ij} \qquad (۷)$$

در رابطه‌ی (۷)، پارامتر Q بیانگر تعداد کل خوشه‌ها در داخل سلول است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = \frac{a^2}{\frac{1}{2}l^2} = \frac{2a^2}{l^2} \qquad (۸)$$

رابطه‌ی (۸) از طریق تقسیم مساحت کل سلول (a^2) به مساحت کل یک خوشه ($\frac{l^2}{2}$) به‌دست آمده است. در روابط (۵) تا (۸) پارامتر مهم و اساسی x است که در بخش بعدی با استفاده از پیاده‌سازی مدل سامانه در محیط شبیه‌سازی آن را استخراج خواهیم نمود.

۳-۲- انتخاب بهترین فرستنده‌ها

در بخش قبلی ظرفیت کل شبکه را فرمول‌بندی کردیم. مشکل اصلی در پیاده‌سازی شبکه‌های دستگاه‌به‌دستگاه در شرایط خیلی پرازدحام مسئله‌ی تداخل فرکانسی است که می‌تواند باعث کاهش کارایی ارتباطات و افت کیفیت خدمات شود[۱]. در این مقاله فرض‌کرده‌ایم تداخلی بین جفت‌های ارتباطی دستگاه‌به‌دستگاه وجود ندارد که این امر همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد با استفاده از تکنیک‌های اختصاص منابع فرکانسی، قابل‌دسترس است. در این مقاله تعداد محدودی از فرستنده‌ها را فعال می‌کنیم که در صورت نبود تکنیک‌های تخصیص منابع بهینه، تا حدی بتوان بر مسئله‌ی تداخل غلبه نمود. از آن‌جا که هدف اصلی بیشینه‌کردن گذردهی کل شبکه است، فرستنده‌هایی را انتخاب می‌کنیم که بیشترین مقدار ظرفیت را بتوانند تولیدکنند. با توجه به توضیحات بخش قبلی، فرستنده‌هایی که می‌توانند بیشترین ظرفیت را تولید کنند، همان فرستنده‌هایی هستند که بیشترین تعداد گیرنده را می‌توانند ارضاء کنند و قابلیت این را دارند که به تعداد گیرنده‌ی بیشتری سرویس بدهند. بنابراین همچنان نیاز است تا با برقراری تعدادی سیگنالینگ بین جفت‌ها و ایستگاه مرکزی، بهترین فرستنده‌ها شناسایی شوند که همان‌طور که در بخش۲ اشاره شد، از طریق تکنیک‌های کشف جفت مبتنی بر سیگنالینگ، قابل دسترس است[۱۰].

۴- نتایج شبیه‌سازی

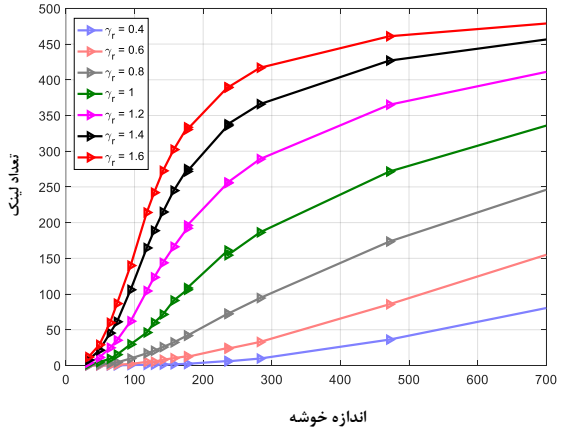
در این بخش سامانه‌ی تحت بررسی را در محیط متلب شبیه‌سازی می‌کنیم. تمام پارامترهای تصادفی در محیط شبیه‌سازی با استفاده از توزیع‌های تصادفی مربوطه پیاده‌سازی شده و متغیرهای تصادفی مربوط به هر توزیع، به‌صورت جداگانه و در حلقه‌های پی‌درپی تولید می‌شوند. از آن‌جا که اکثر پارامترهای تأثیرگذار در رفتار سیستم همگی تصادفی هستند، از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای پیاده‌سازی سیستم استفاده‌می‌کنیم. اساس کار این روش به‌این‌صورت است که در حلقه‌های پی‌درپی، مشاهدات تصادفی برای تمام متغیرهای تصادفی تولید شده و در پایان از تمام مشاهدات میانگین‌گیری کرده و نتیجه به‌صورت مقادیر متوسط، بیان می‌شود. خلاصه‌ی پارامترهای شبیه‌سازی در جدول۱ آمده‌است.

جدول ۱: پارامترهای شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار
n	۵۰۰
a	۱۰۰۰ متر
γ	از ۰/۴ تا ۱/۶
M	۱۰۰۰
W	۱ هرتز، با استناد به مقالهٔ [۴]
σ	۱۷۴ dBm/Hz، با استناد مقالهٔ [۴]
α	۲/۶ با استناد به مقالهٔ [۴، ۱۱]
P_t	۲۳ dBm با استناد به مقالهٔ [۴]
حلقه‌های مونت‌کارلو	۱۰۰۰
l	از ۱۰ متر تا ۷۰۰ متر

۴-۱- تعداد لینک‌های بالقوه‌ی ناشی از درخواست‌های تصادفی

ابتدا می‌خواهیم بدانیم با در نظر گرفتن لینک‌های ارتباطی بالقوه‌ای که به واسطه‌ی توزیع زیتا ایجاد شده‌اند، روش پیشنهادی تا چه اندازه تعداد لینک‌های بیشتری را پوشش می‌دهد. توجه داشته باشیم که تولید لینک‌های ارتباطی یک فرآیند کاملاً تصادفی است که با استناد به طبیعت تصادفی توزیع زیتا، به‌دست‌می‌آید. شکل۳ تعداد لینک‌های بالقوه‌ای را در شبکه نشان می‌دهد که بواسطه‌ی درخواست‌های همزمان کاربران بوجود آمده است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، پارامتر زیتا نقش مهمی در درخواست‌های کاربران ایفا می‌کند و با افزایش مقدار آن، تعداد کاربران بیشتری در تشکیل لینک‌های ارتباطی بالقوه شرکت می‌کنند.

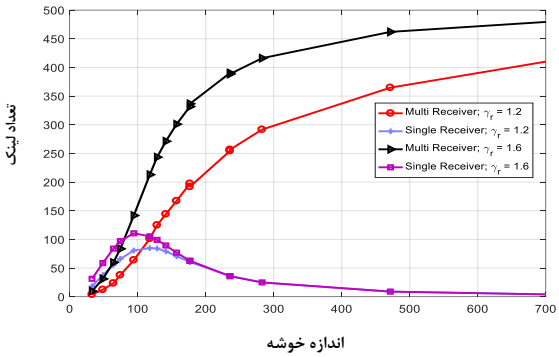


شکل ۳: تعداد لینک‌های بالقوه‌ی قابل تشکیل بر اثر درخواست تصادفی کاربران با پارامتر زیتا

www.SID.ir

Archive of SID

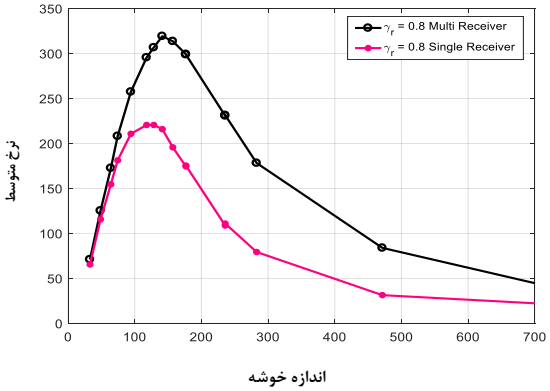
یکی دیگر از پارامترهای مهم در شکل (۳)، تأثیر اندازه‌ی خوشه‌ها در رفتار سیستم است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش اندازه‌ی خوشه‌ها، تعداد لینک‌ها به صورت صعودی افزایش می‌یابد و دلیل این پیشامد این است که افزایش اندازه‌ی خوشه موجب افزایش ازدحام در شبکه می‌شود و کاربران بیشتری می‌توانند در داخل خوشه‌ها برای ارسال درخواست‌ها شرکت کنند. شکل ۴ مقایسه‌ی روش پیشنهادی با روش تک لینکی می‌باشد. در روش تک‌لینکی، تنها یک کاربر می‌تواند محتوای موردرخواست خود را از فرستنده‌ی موردنظر بگیرد. درحالیکه، مطابق توزیع زیتا ممکن است در یک لحظه چندین کاربر درخواست یک محتوای ویدئویی را از یک فرستنده داشته باشند. همان‌طور که در شکل۴ ملاحظه می‌شود، تعداد لینک‌های بالقوه در سیستم پیشنهادی بیشتر از تعداد لینک‌های تک‌کاربره می‌باشد. با افزایش اندازه‌ی خوشه، تقریباً تمام کاربران به‌صورت چند لینکی به یک فرستنده درخواست می‌دهند. نقش ضریب زیتا در این شکل نیز نمایان است و با افزایش آن، همواره تعداد درخواست‌ها به کاربرانی که فایل‌های پربازدید را در خود ذخیره کرده‌اند، بالا می‌رود.



شکل ۴: مقایسه‌ی تعداد کل لینک‌ها در روش پیشنهادی با روش تک-لینکی در مقاله‌ی [۴]

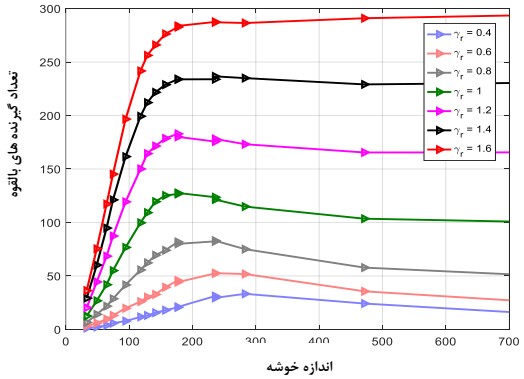
۴-۲- فعال کردن فرستنده‌ها در داخل خوشه‌ها به منظور دسترسی به حداکثر ظرفیت

پس از تشخیص لینک‌های بالقوه در سیستم، حال باید فرستنده‌هایی را فعال کنیم که منجر به بیشترین نرخ در سیستم می‌گردند. برای این منظور ابتدا با استفاده از اطلاعاتی که در مورد لینک‌های بالقوه داریم، اقدام به تخمین میزان نرخ در سیستم می‌کنیم. نحوه‌ی تخمین به‌این-صورت است که با همان لینک‌های بالقوه اقدام به محاسبه‌ی میزان نرخ قابل حصول برای تمام فرستنده‌های بالقوه در داخل شبکه می‌کنیم. سپس نرخ‌های به‌دست‌آمده را مرتب می‌کنیم و فرستنده‌هایی که بیشترین نرخ را در سیستم تولید می‌کنند، انتخاب می‌کنیم. شکل۵ میزان نرخ حاصل از فعال کردن فرستنده‌ها در شبکه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میزان نرخ در سیستم پیشنهادی بیشتر از سیستمی است که در آن یک کاربر تنها به یک گیرنده سرویس می-دهد.



شکل ۵: ظرفیت کل شبکه در سامانه‌ی پیشنهادی در مقایسه با روش تک‌لینکی در مقاله‌ی [۴]

با فعال‌کردن فرستنده‌هایی که بیشترین نرخ را در سامانه تولید می-کنند کل ظرفیت سامانه در شکل۵ نشان داده شده‌است. حال می‌خواهیم بدانیم که کاربران انتخاب شده چه تعداد گیرنده را پوشش داده‌اند. تعداد گیرنده‌های متوسط در این سامانه بیانگر تعداد لینک‌های فعال شده به واسطه‌ی فعال شدن فرستنده‌ی مورد نظر است. شکل۶ تعداد گیرنده-های حاصل از فعال کردن فرستنده‌های مورد نظر را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، با افزایش پارامتر زیتا، تعداد گیرنده‌های بالقوه در شبکه افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش اندازه‌ی خوشه در شبکه، ازدحام کاربران در داخل خوشه‌ها افزایش می‌یابد و این مسئله به نوبه‌ی خود باعث افزایش تعداد لینک‌های بالقوه در شبکه می-شود. اما برای اندازه‌های بزرگتر از ۲۰۰ متر، تعداد گیرنده‌های بالقوه تغییر چندانی نمی‌کند که این مسئله به دلیل توزیع‌شدن درخواست‌های کاربران روی محتوای ویدئویی مختلف می‌باشد. یعنی وقتی ازدحام کاربران با افزایش اندازه‌ی خوشه بیش از ۲۰۰ متر افزایش می‌یابد، به-دلیل ازدحام زیاد کاربران، درخواست‌های آنها از فایل‌های مختلف است و فایل‌های پربازدید مختلف در تشکیل این لینک‌ها شرکت می‌کنند. در این نمودار چون تنها دو عدد از کاربران را در تمام خوشه‌ها فعال کرده‌ایم، همین دو عدد کاربر فعال در اندازه‌ی خوشه‌های بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ متر همان تعداد گیرنده‌ها را پوشش‌می‌دهند.

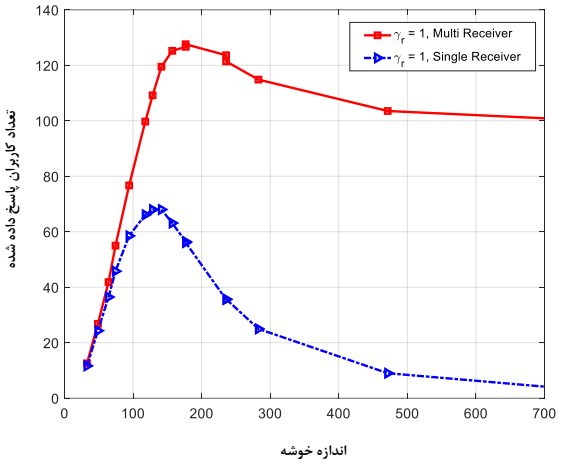


شکل ۶: تعداد گیرنده‌های ارضا شده پس از فعال‌سازی فرستنده‌های مطلوب در سیستم

www.SID.ir

Archive of SID

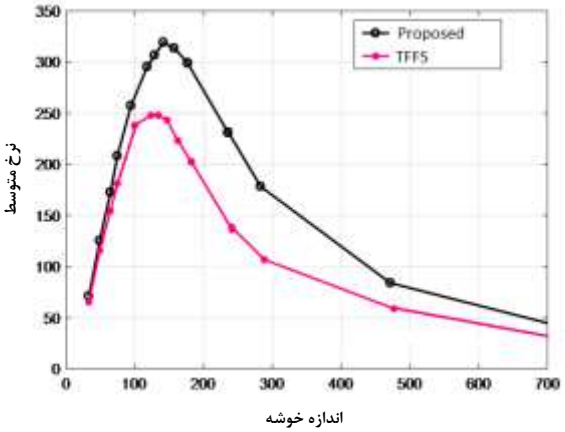
در شکل۷، تعداد کاربران ارضاء شده در سامانه‌ی پیشنهادی در این مقاله با روش تک‌لینکی مقایسه شده است. همان‌طور که ملاحظه می شود، تعداد کاربران پا سخ داده شده در سامانه‌ی پی شنهادی تحت شرایط یکسان بی‌شتر از روش تک‌لینکی ا ست. دلیل این امر آن ا ست که براساس توزیع زیتا، وقتی کاربران درخواست خود را ارسال می‌کنند، با احتمال بیشتری، تعداد زیادی کاربر، درخواست یک محتوا را دارند.



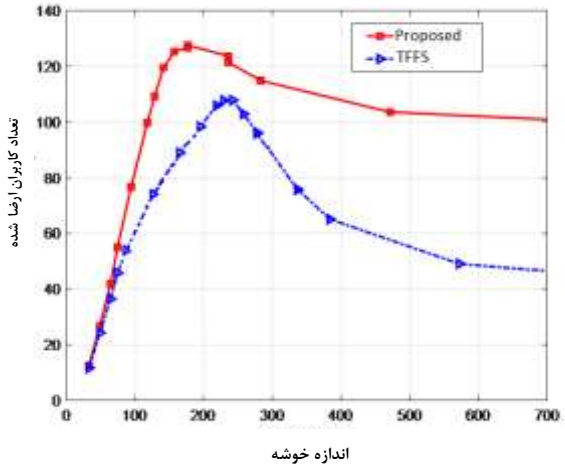
شکل ۷: مقایسه‌ی تعداد گیرنده‌های ارضا شده در کل شبکه در سامانه‌ی پیشنهادی با روش تک‌لینکی در مقاله‌ی[۴]

در انتها ما روش پیشنهادی خود را با روش چندلینکی TFFS ارائه شده در[۱۴] از نظر نرخ داده و تعداد کاربران ارضاء شده مقایسه کرده‌ایم. این روش بیشترین تشابه را با روش پیشنهادی ما دارد از این نظر که هم از خوشه‌بندی استفاده‌می‌کند و هم ارتباطات به‌صورت چندلینکی هستند. اما این دو روش تفاوت‌هایی با هم دارند. به‌ویژه این‌که روش پیشنهادی ما از توزیع زیتا به‌منظور سنجش میزان محبوبیت فایل ها استفاده می‌کند. و از طرفی روش TFFS از تکنیک‌هایی به‌منظور کاهش تداخل و استفاده از بازخورد استفاده می‌کند. در نتیجه این دو روش بر مبنای پارامترهای مختلفی تنظیم می‌شوند. ما به‌منظور مقایسه عادلانه، حتی‌المقدور از بهینه‌ترین پارامترهای ممکن در هر دو روش استفاده‌کرده‌ایم تا این دو روش قابل مقایسه شوند. شکل۸ و شکل۹ به ترتیب میزان کل ظرفیت شبکه و کاربران ارضاء شده در این دو روش را با هم مقایسه می‌کنند.

همان‌طور که در این دو شکل دیده‌می‌شود، روش پیشنهادی ما عمل‌کرد بهتری دارد. علت اصلی این برتری را می‌توان در استفاده از توزیع زیتا به‌منظور تعیین محبوبیت فایل‌های موردنظر کاربران جستجوکرد. در روش پیشنهادی با شناسایی و توزیع محتوای ویدئویی محبوب بین خوشه‌های مختلف، امکان پاسخگویی به درخواست های همزمان فراهم شده و در نتیجه میزان کاربران ارضاء شده به ویژه برای خوشه‌های بزرگتر، افزایش می‌یابد. اما برای اندازه‌های خوشه‌های خیلی بزرگ، کارایی تا حدودی افت می‌کند زیرا درخواست های کاربران روی محتوای مختلف توزیع می‌شود. اما روش TFFS هم نسبت به روش پیشنهادی ما برتری‌هایی دارد که مربوط به ویژگی‌های محیطی است. برتری اصلی این روش نسبت به روش پیشنهادی ما این است که TFFS درصورت وجود انواع مختلف نویز زیاد و تداخل‌ها بهتر عمل می‌کند حال آن‌که روش پیشنهادی ما برای این‌گونه محیط‌ها طراحی نشده‌است. ما در آینده قصد داریم که این مسائل را نیز در روش پیشنهادی، درنظر بگیریم.



شکل ۸: ظرفیت کل شبکه در سامانه‌ی پیشنهادی در مقایسه با روش چندلینکی در مقاله‌ی [۱۴]



شکل ۹: مقایسه‌ی تعداد گیرنده‌های ارضاء شده در کل شبکه در سامانه‌ی پیشنهادی با روش چند لینکی در مقاله‌ی [۱۴]

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید برای تحویل محتوای ویدئویی در شبکه‌های سلولی مجهز به ارتباطات دستگاه‌به‌دستگاه معرفی شد. با بهره‌مندی از قابلیت خوشه‌بندی و طبیعت تصادفی توزیع زیتا که مشخصه‌ی اصلی محبوبیت محتوای ویدئویی در شبکه است، نشان‌دادیم که این امکان وجود دارد که چندین کاربر در یک لحظه، یک نوع محتوای ویدئویی را از یک کاربر درخواست‌کنند. با فعال‌سازی قابلیت ارسال محتوا از طریق یک کاربر به چندین کاربر، کارایی سامانه را تحت شرایط مساوی با معادل

www.SID.ir

Archive of SID

تک‌لینکی آن مقایسه‌کردیم که نتایج شبیه‌سازی بهبود قابل توجهی را در کارایی سامانه‌ی پیشنهادی نشان‌داد. پارامتر زیتا مهم‌ترین پارامتر در این سامانه است که با افزایش مقدار آن، کارایی سامانه‌ی پیشنهادی حتی بیشتر نیز می‌تواند باشد. این بدان معنی است که برای یک شبکه‌ی تحویل محتوا، اگر پربازدیدترین فایل‌ها را در کاربران ذخیره‌کنیم، برای ضرایب مختلف زیتا، بهبود قابل توجهی در سامانه، بر حسب تعداد لینک-های بالقوه، حداکثر ظرفیت قابل دسترس، و تعداد کاربران ارضا شده در سامانه خواهیم‌داشت. به‌طور کلی، علت برتری روش پیشنهادی در این مقاله در مقایسه با روش تک‌لینکی آن است که، کاربران تمایل بیشتری به دریافت محتوای مشترک دارند و در نتیجه، لینک‌های بیشتری می-توانند تشکیل شوند که موجب افزایش گذردهی شبکه و افزایش تعداد کاربران ارضا شده می‌شود. به‌منظور بهینه‌سازی روش پیشنهادی می‌توان از روش‌های خوشه‌بندی هوشمندی مانند شبکه‌های خودسامانده[۱۸] استفاده کرد. همچنین به‌منظور بهینه‌سازی تبادلات دستگاه‌به‌دستگاه، استفاده از الگوریتم‌های k نزدیک‌ترین همسایه[۱۹] به‌جای خوشه بندی می‌تواند مفید واقع شود.

مراجع

[1] A. Asadi, Q. Wang, and V. Mancuso, "A survey on device-to-device communication in cellular networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, pp. 1801-1819, 2014.

[2] N. Golrezaei, A. F. Molisch, A. G. Dimakis, and G. Caire, "Femtocaching and device-to-device collaboration: A new architecture for wireless video distribution," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, pp. 142-149, 2013.

[3] M. Ji, G. Caire, and A. F. Molisch, "Fundamental limits of caching in wireless D2D networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 62, pp. 849-869, 2016.

[4] N. Golrezaei, P. Mansourifard, A. F. Molisch, and A. G. Dimakis,"Base-station assisted device-to-device communications for high-throughput wireless video networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 13, pp. 3665-3676, 2014.

[5] M. Afshang, H. S. Dhillon, and P. H. J. Chong, "Modeling and performance analysis of clustered device-to-device networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, pp. 4957-4972, 2016.

[6] M. Ji, G. Caire, and A. F. Molisch, "The throughput-outage tradeoff of wireless one-hop caching networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 61, pp. 6833-6859, 2015.

[7] M. Ji, G. Caire, and A. F. Molisch, "Wireless device-to-device caching networks: Basic principles and system performance," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 34, pp. 176-189, 2016.

[8] K. Zhu, W. Zhi, L. Zhang, X. Chen, and X. Fu, "Social-Aware Incentivized Caching for D2D Communications," *IEEE Access*, vol .4, pp. 7585-7593, 2016.

[9] Z. Chen, Y. Liu, B. Zhou, and M. Tao, "Caching incentive design in wireless D2D networks: A stackelberg game approach," in *Communications (ICC), 2016 IEEE International Conference on*, pp. 1-6, 2012.

[10] M. Naslcheraghi, L. Marandi, and S. A. Ghorashi, "A Novel Device-to-Device Discovery Scheme for Underlay Cellular Networks," *arXiv preprint arXiv:1702.08053*, 2017.

[11] A. I. Sulyman, A. T. Nassar, M. K. Samimi, G. R. Maccartney, T. S. Rappaport, and A. Alsanie, "Radio propagation path loss models for 5G cellular networks in the 28 GHz and 38 GHz millimeter-wave bands," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, pp. 78-86, 2014.

[12] D. Tsolkas, E. Liotou, N. Passas, and L. Merakos, "A graph-coloring secondary resource allocation for D2D communications in LTE networks," in *Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), 2012 IEEE 17th International Workshop on*, pp. 56-6, 2012.

[13] P. Gupta and P. R. Kumar, "The capacity of wireless networks," *IEEE Transactions on information theory*, vol. 46, pp. 388-404, 2000.

[14] R. Chithra, R. Bestak, and S.K. Patra, "An interference cancellation scheme for D2D multi-link communication underlaying cellular network," *Annals of Telecommunications*, *71*(1-2), pp. 47-60, 2016.

[15] M. Afshang, H. S. Dhillon, and P. H. J. Chong, "Modelling and performance analysis of clustered device-to-device networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. *15*(7), pp. 4957-4972, 2016.

[16] X. Lin, J. G. Andrews, and A. Ghosh, "Spectrum sharing for device-to-device communication in cellular networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. *13*(12), pp. 6727-6740, 2014.

[17] M. Cha, H. Kwak, P. Rodriguez, Y. Y. Ahn, and S.Moon, "I tube, you tube, everybody tubes: analyzing the world's largest user generated content video system," In *Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pp. 1-14, 2007.

[۱۸] علیرضا سردار، رمضان هاونگی، «بهبود عملکرد الگوریتم خوشه یابی خودکار تصاویر رنگی به کمک پیش پردازش با شبکه عصبی خود ساماند(SOM)»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۷، شماره ۳ - شماره پیاپی ۸۱، صفحه ۱۰۷۳-۱۰۸۲، پاییز ۱۳۹۶.

[۱۹] وحیده منعمی‌زاده، جواد حمیدزاده،«جستجوی k نزدیک ترین همسایه تقریبی با روش ترکیب خطی»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۷، شماره ۳، شماره پیاپی ۸۱، صفحه ۱۲۳۷-۱۲۴۹، پاییز ۱۳۹۶.

زیرنویس‌ها

[1] Downlink

[2] Throughput maximization Finite Feedback Schema

[3] Spectrum Sharing

www.SID.ir