طرحی برای موازنه بار در شبکه‌های ناهمگون با استفاده از ارتباط رله‌ای مبتنی بر D2D

شهریار غلامی مهرآبادی، یاسر عطار ایزی و سروش اخلاقی

چکیده: شبکه‌های ناهمگون به عنوان جزئی جدایی‌ناپذیر در ارتباطات نسل پنجم، به منظور پاسخ‌گویی به رشد بی‌سابقه نرخ داده مورد نیاز، معرفی شده‌اند. در این شبکه‌ها، وجود انواع سلول‌ها با ایستگاه‌های پایه با توان و ظرفیت‌های متفاوت، امکان استفاده مکرر از پهنای باند در دسترس را فراهم ساخته است. علاوه بر این، بار اضافی روی ایستگاه پایه مرکزی می‌تواند به ایستگاه‌های پایه در زیرسلول‌ها منتقل شود. در این مقاله شیوه‌ای جدید برای چنین مسأله موازنه باری پیشنهاد شده که در آن برخی از کاربران که قبلاً به ایستگاه پایه اصلی متصل بودند، با استفاده از رله‌های D2D، در زیرسلول‌ها سرویس‌دهی می‌شوند. این امر موجب افزایش ظرفیت کلی شبکه، بهبود کیفیت خدمات (QoS) کاربران لبه سلول و پوشش تعداد بیشتر کاربران می‌شود. در این طرح، افزایش حداکثری ظرفیت لینک‌های D2D به صورت یک مسأله بهینه‌سازی مطرح شده که اساساً یک مسأله غیر محدب است. برای حل این مشکل، مسأله اصلی به دو زیرمسأله تخصیص منابع بهینه و جفت‌سازی بهینه زوج‌های کاربر- رله با پیچیدگی بسیار کمتر تبدیل شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها عملکرد بهتر این شیوه را نسبت به سایر طرح‌های پیشنهادی پیشین نشان می‌دهد.

کلیدواژه: **ارتباط دستگاه به دستگاه، تخصیص منابع، تقسیم فرکانسی، شبکه‌های ناهمگون، موازنه بار.**

۱- مقدمه

با رشد روزافزون تعداد دستگاه‌های متقاضی برای دریافت خدمات داده، شاهد نیاز بی‌سابقه‌ای برای نرخ داده بیشتر در شبکه‌های مخابراتی هستیم. عوامل زیادی در رشد نیاز به نرخ داده‌های بالا دخیل هستند. تنوع کاربردهایی نظیر انتقال محتوای رسانه، اپلیکیشن‌های موبایلی، شبکه‌های اجتماعی و اینترنت اشیا تنها برخی از مواردی هستند که اخیراً به شبکه داده اضافه شده‌اند [۱] و [۲]. از طرفی منابع طیف در دسترس محدود است و بنابراین بایستی به دنبال راهکاری برای استفاده بهینه از این منابع بود. بدین منظور طرح‌های مختلفی برای تخصیص منابع به کاربران پیشنهاد شده و همچنین انواع شبکه‌ها و تکنولوژی‌های ارتباطی پیشرفته‌تر، در نظر گرفته شده‌اند. یکی از این ایده‌ها شبکه‌های ناهمگون (HetNets)[1] بوده است [۳]. شبکه‌های ناهمگون به عنوان یک ویژگی جدایی‌ناپذیر در ارتباطات نسل پنجم (5g)، به منظور پاسخ‌گویی به رشد بی‌سابقه درخواست برای نرخ داده‌های بالاتر معرفی شده‌اند. در این شبکه‌ها انواع سلول‌ها از نظر ابعاد پوشش و انواع تکنولوژی‌های دسترسی برای کاربران در نظر گرفته شده است [۴]. از مزایای این شبکه‌ها می‌توان به بهره‌وری بیشتر از طیف و توان، بهبود کیفیت خدمات (QoS)[2]، افزایش ناحیه تحت پوشش[3]، افزایش گذردهی[4] سیستم، تعداد بیشتر کاربران تحت پوشش و ... اشاره کرد. اما پیاده‌سازی این شبکه‌ها به علت استفاده از تکنیک‌های اشتراک طیف[5]، تعداد زیاد سلول‌ها با اندازه‌های گوناگون، انواع مختلف کاربران با دسترسی‌های گوناگون و لزوم پشتیبانی از سیستم‌های قدیمی‌تر با چالش‌هایی مواجه است. از مهم‌ترین این چالش‌ها می‌توان به مدیریت و حذف تداخل ناشی از استفاده چندباره از طیف، نحوه انتخاب زیرسلول‌ها برای کاربران مختلف [۵]، تخصیص بهینه منابع طیف و توان در شبکه [۶] و موازنه بار[6] بین زیرسلول‌ها [۷] اشاره کرد. به منظور حل این چالش‌ها طرح‌های گوناگونی مطرح شده که باعث ارتقای شبکه‌های ناهمگون شده‌اند.

به عنوان مثال در [۸] نویسندگان طرحی ارائه نموده‌اند که در آن افزایش ظرفیت سیستم به عنوان هدف مسأله و تداخل بین سلول‌ها به عنوان قیدهای محدودکننده بیان شده‌اند. این مسأله بهینه‌سازی با تقسیم به سه مرحله مجزا به پاسخ زیربهینه منجر شده است که پیچیدگی نسبتاً کمی را نیز ارائه می‌کند. طرح دیگری در [۹] پیشنهاد شده که در آن با استفاده از یک شیوه جدید تقسیم فرکانسی، سطح تداخل ایجادشده روی کاربران با منابع مشترک کاهش یافته و در نتیجه ظرفیت شبکه افزایش پیدا کرده است.

نویسندگان [۱۰] طرحی را ارائه نموده‌اند که با در نظر گرفتن نوع ارتباط از قبیل ماشین به ماشین (M2M) و یا کاربر به کاربر شرط‌های مختلفی برای ارتباط بایستی ارضا شود و بر اساس این شرط‌ها و تفاوت نیازها، زیرسلول و ایستگاه پایه مناسب انتخاب می‌شود. در [۱۱] طرحی پیشنهاد شده است که در آن عملیات انتخاب سلول‌ها و همچنین موازنه بار در شبکه‌های ناهمگون به صورت هم‌زمان انجام می‌شود و باعث افزایش ظرفیت سیستم می‌گردد. طرح دیگری برای انتخاب ایستگاه پایه مناسب در [۱۲] پیشنهاد شده که در آن ماکسیمم‌سازی کمترین ظرفیت لینک در شبکه به عنوان مسأله بهینه‌سازی مطرح، و با پیچیدگی قابل قبولی حل گردیده است.

استفاده از تکنیک‌هایی چون به کارگیری رله‌ها و ارتباط D2D در شبکه‌های سلولی، سبب بهبود کارایی این شبکه‌ها از نظر سطح پوشش و کارایی طیفی می‌گردد [۱۳] و [۱۴]. بدیهی است که استفاده از این

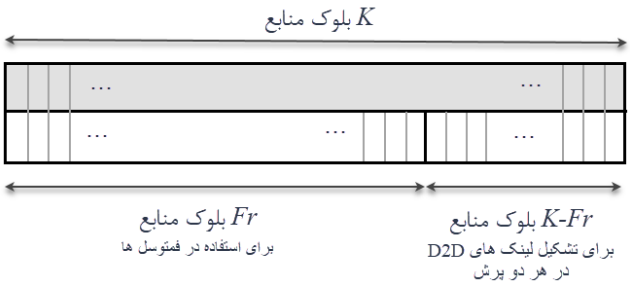
این مقاله در تاریخ ۱ اسفند ماه ۱۳۹۷ دریافت و در تاریخ ۸ آبان ماه ۱۳۹۸ بازنگری شد.

شهریار غلامی مهرآباد، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران، (email: gholami.sh@qut.ac.ir).

یاسر عطار ایزی (نویسنده مسئول)، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران، (email: attarizi@qut.ac.ir).

سروش اخلاقی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران، (email: akhlaghi@shahed.ac.ir).

1. Heterogeneous Networks
2. Quality of Service
3. Coverage Area
4. Throughput
5. Spectrum Sharing Techniques
6. Load Balancing



شکل ۱: بخش‌بندی منابع در شبکه و نحوه تخصیص و استفاده مجدد از آنها.

تکنولوژی‌ها در شبکه‌های ناهمگون نیز می‌تواند موجب بهبودهای چشم‌گیری در عملکرد آنها گردد. آنچه استفاده از این تکنولوژی‌ها را دشوار می‌سازد، تخصیص منابع مناسب برای ایجاد این دسته از لینک‌های جدید است. در این زمینه تا کنون چندین طرح ارائه شده است. به عنوان مثال در [۱۵] طرحی ارائه شده که انتقال کاربران از ایستگاه پایه اصلی به ایستگاه‌های پایه در زیرسلول‌ها به کمک رله و ارتباط D۲D انجام می‌گردد و در آن بازه‌های زمانی[1] و باندهای فرکانسی به گونه‌ای به کاربران تخصیص می‌یابد که کارایی انرژی[2] در آن ماکسیمم شود. در [۱۶] طرحی مبتنی بر رله و ارتباط D۲D برای موازنه بار در شبکه‌های ناهمگون مطرح شده که ضمن حفظ QoS کاربران فعلی شبکه، تعداد کاربران جدید تحت پوشش شبکه را افزایش می‌دهد. نویسندگان مقاله [۱۷] تأثیر ارتباط D۲D در شبکه‌های ناهمگون را بررسی نموده‌اند و مسأله ماکسیمم‌سازی ظرفیت شبکه را با استفاده از شاخصه‌های اصلی شبکه از جمله نرخ داده کاربران و همچنین تعداد کاربران تحت پوشش حل نموده‌اند. طرح‌های دیگری برای تخصیص منابع بهینه در شبکه‌های ناهمگونی که از رله‌ها برای گسترش ناحیه تحت پوشش و افزایش بهره‌وری طیفی استفاده می‌کنند، در [۱۸] تا [۲۰] پیشنهاد شده است.

تا کنون چندین طرح برای موازنه بار در شبکه‌های ناهمگون ارائه شده که عموماً مبتنی بر رله و ارتباط D۲D هستند (مانند آنچه در [۲۱] و [۲۲] بیان شده است). مسأله موازنه بار در شبکه‌های ناهمگون را می‌توان جامع چالش‌های ذکرشده دانست چرا که در این طرح‌ها، انتخاب زیرسلول‌های جایگزین، تخصیص منابع بهینه، مدیریت تداخل و مدیریت بار غیر یکنواخت در شبکه، بایستی توأماً صورت پذیرد.

در این مقاله، طرحی برای موازنه بار در شبکه‌های ناهمگون پیشنهاد شده که در آن بار اضافی ایستگاه پایه اصلی از طریق رله و ارتباط D۲D به ایستگاه‌های پایه در زیرسلول‌ها منتقل می‌گردد. برای این انتقال بار، هر یک از کاربران ابتدا زیرسلول مناسب خود و سپس رله مناسب را در این زیرسلول انتخاب می‌کنند و بعد از دریافت منابع طیفی مناسب برای ایجاد ارتباط D۲D، از طریق رله‌ها به ایستگاه‌های پایه داخل زیرسلول‌ها متصل می‌شوند. منابعی که برای ایجاد لینک‌های D۲D استفاده می‌شوند، منابعی هستند که یک بار توسط کاربران سلولی اولیه در شبکه استفاده شده‌اند. در نتیجه طرح پیشنهادی باید تخصیص منابع را به گونه‌ای انجام دهد که تداخل ناشی از این اشتراک منابع را به خوبی مدیریت کند و QoS کاربران را در هر دو سو حفظ نماید. این امر با استفاده از یک روش انتخاب زوج‌های مناسب برای اشتراک منابع و کنترل توان آنها محقق گردیده است. در نتیجه این طرح، تعداد کاربران تحت پوشش شبکه افزایش یافته، QoS تمامی کاربران فعلی شبکه بالاتر از یک سطح آستانه حفظ شده و ظرفیت کلی شبکه افزایش یافته است.

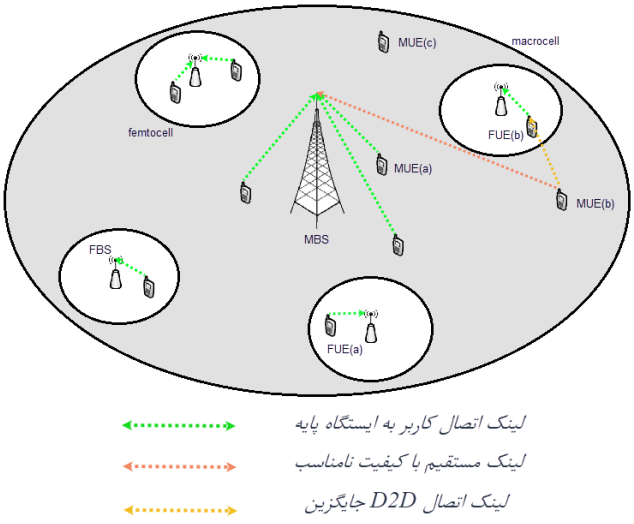
آنچه در ادامه این مقاله آمده به این قرار است که در بخش دوم مدل سیستم و فرمول‌بندی مسأله بیان گردیده است. در بخش سوم طرح پیشنهادی موازنه بار و الگوریتم حل مسأله ارائه شده و در بخش چهارم، نتایج حاصل از شبیه‌سازی و خروجی الگوریتم آورده شده است. در انتها نتیجه‌گیری و جمع‌بندی در بخش پنجم قابل ملاحظه است.

۲- مدل سیستم و فرمول‌بندی مسأله

به طور کلی برای شبکه‌های ناهمگون سناریوهای پیاده‌سازی و گسترش متنوعی می‌توان در نظر گرفت. در همه این سناریوها یک ایستگاه پایه مرکزی برای سلول اصلی وجود دارد که اصطلاحاً به آن، ایستگاه پایه ماکرو[3] (MBS) و به این سلول، ماکروسل[4] گفته می‌شود. در داخل ماکروسل تعدادی زیرسلول با ابعاد کوچک‌تر و ایستگاه‌های پایه با توان و ظرفیت پایین‌تر نسبت به ایستگاه پایه ماکرو وجود دارد. این زیرسلول‌ها با توجه به ابعاد و توان ایستگاه پایه خود در یکی از گروه‌های میکروسل[5]، پیکوسل[6] و فمتوسل[7] قرار می‌گیرند [۲۳]. سناریویی که در این مقاله مورد استفاده و بررسی قرار گرفته است، سناریوی ماکرو- فمتو است که در آن زیرسلول‌ها از نوع فمتوسل هستند. در هر یک از فمتوسل‌ها یک ایستگاه پایه با توان پایین‌تر نسبت به MBS وجود دارد که با FBS نشان داده می‌شود. کاربرانی که در ماکروسل هستند اما عضو هیچ یک از فمتوسل‌ها نیستند، با MUE و کاربرانی که درون فمتوسل‌ها قرار دارند با FUE نشان داده می‌شوند. فرض می‌شود که در ماکروسل K بلوک منابع (RB)[8] و تعداد M کاربر MUE وجود دارد که $M > K$. با این فرض MBS در حالت اشباع قرار داده می‌شود و کاربر جدیدالورود برای ارتباط مستقیم با MUE، منابعی نخواهد یافت. درون هر فمتوسل حداکثر F کاربر FUE قرار دارد. MBS بلوک‌های منابع را به کاربران تخصیص می‌دهد. نحوه این تخصیص منابع به گونه‌ای است که تمام این بلوک‌ها یک بار در اختیار MUEها در ماکروسل قرار می‌گیرند و از طرفی همین بلوک‌ها در فمتوسل‌ها مجدداً استفاده می‌شوند. تعداد F_r تا از این بلوک‌ها به FUEها اختصاص می‌یابند که $F_r > F$. فرض می‌شود که این منابع در فمتوسل‌های مجزا می‌توانند تکرار شوند اما در هیچ فمتوسلی یک RB نمی‌تواند بیش از یک بار استفاده شود. برخی از MUEها که به خاطر عدم وجود RB لازم، موفق به دریافت منابع نشده‌اند بایستی از طریق ارتباط D۲D به فمتوسل‌ها منتقل شوند. تعداد $K - F_r$ تا از RBها به این گروه از کاربران اختصاص می‌یابد تا در صورت داشتن شرایط لازم، از این RBها استفاده کنند و به FBSها متصل گردند. شکل ۱ بخش‌بندی منابع سلول و طرح استفاده مجدد منابع را نمایش می‌دهد.

در شکل ۲ یک ماکروسل به همراه فمتوسل‌ها و کاربران موجود در آنها نشان داده شده است. با توجه به شکل فرض کنید MUE(b) کاربری در لبه سلول باشد که کیفیت لینک مناسبی ندارد و همچنین کاربر MUE(c) کاربری باشد که به تازگی وارد این سلول شده و با ایستگاه پایه‌ای اشباع‌شده مواجه می‌شود و چون RB آزادی وجود ندارد که به آن

1. Time Slots
2. Energy Efficiency
3. Macro Base Station
4. Macrocell
5. Microcell
6. Picocell
7. Femtocell
8. Resource Block



شکل ۲: مدل سیستم شبکه ناهمگون.

اختصاص یابد خدماتی دریافت نمی‌کند. در این صورت اگر MUE(b) به یکی از FBSها که ظرفیت آزاد دارد متصل شود از دو نظر موجب افزایش بهره‌وری شبکه می‌شود. اول این که خود MUE(b) خدمات با کیفیت‌تری دریافت می‌کند و به خاطر این که با MBS در ارتباط باشد نیازی به اتلاف توان بیشتر و در نتیجه ایجاد تداخل بیشتر بر روی سایر کاربران نیست و دوم این که بلوک منابعی که به MUE(b) اختصاص داده شده بود، آزاد می‌شود و کاربر تازه‌وارد می‌تواند از آن استفاده کند که موجب افزایش تعداد کاربران تحت پوشش و در نتیجه افزایش ظرفیت کلی شبکه می‌شود.

این انتقال بار از MBS به یک FBS جایگزین، به نوعی یک موازنه بار است که به کمک لینک‌های D۲D و ایفای نقش تجهیزات کاربران داخل فمتوسل‌ها به عنوان رله امکان‌پذیر می‌شود. از این پس از آن دسته از MUEهایی که توسط لینک D۲D در دو پرش به FBSها متصل می‌شوند با نام DUE یاد می‌شود و تعداد آنها برابر با D است که این کاربران همان طور که قبلاً اشاره شد $K-F_r$ بلوک منابع طیف در اختیار دارند. بر خلاف منابعی که به FUEها در داخل فمتوسل‌ها اختصاص داده شد، منابعی که به DUEها اختصاص داده می‌شود قابلیت تکرار ندارند و تنها توسط یک DUE می‌توانند استفاده شوند.

هدف در اینجا افزایش ظرفیت کلی شبکه است و با توجه به توضیحات قبلی واضح است که هرچه مقدار بیشتری از بار MBS به فمتوسل‌ها منتقل شود یا به طور معادل ظرفیت استفاده‌شده لینک‌های D۲D در شبکه بیشتر باشد، ظرفیت کلی شبکه نیز بیشتر خواهد بود. از طرفی، اشتراک منابع برای ایجاد لینک‌های D۲D موجب ایجاد تداخل روی ارتباط MUE که از ابتدا از آن RB استفاده می‌نمود خواهد شد. بنابراین بایستی این اشتراک منابع به گونه‌ای صورت پذیرد که تداخل ایجادشده، SINR در سمت MUE را از یک حد آستانه پایین‌تر نیاورد. این امر با یک طرح کنترل توان در هر دو سمت DUE و MUE که از یک RB استفاده می‌کنند محقق می‌شود. به گونه‌ای که توان ارسالی هر دو کاربر به گونه‌ای تنظیم می‌شود که SINR در هر دو سمت از سطح آستانه که با γ_{th} نشان داده می‌شود، بالاتر باشد. بنابراین می‌توان مسأله ماکسیمم‌سازی ظرفیت شبکه را در قالب یک مسأله ماکسیمم‌سازی ظرفیت لینک‌های D۲D بیان کرد که بایستی قید SINR کاربرانی که از یک RB مشترک استفاده می‌کنند را ارضا نماید. این مسأله را می‌توان به صورت مسأله بهینه‌سازی (۱) بیان نمود

$$\begin{aligned} &\max \sum T_{D۲D} \\ &\text{s.t.} \\ &\gamma_{MUE_m}, \gamma_{DUE_d} \geq \gamma_{th} \\ &P_{MUE_m} \leq P_{MUE}^{\max}, m = ۱,\ldots,M \\ &P_{DUE_d} \leq P_{DUE}^{\max}, d = ۱,\ldots,D \end{aligned} \quad (۱)$$

در این رابطه $T_{D۲D}$ نشان‌دهنده ظرفیت لینک‌های D۲D در شبکه است که بایستی ماکسیمم شود. P_{MUE} و P_{DUE} به ترتیب توان‌های ارسالی کاربران MUE و DUE هستند و $P_{MUE}^{\max}$ و $P_{DUE}^{\max}$ بیشترین توان قابل ارسال توسط کاربر از نوع به ترتیب MUE و DUE می‌باشند. در بخش بعدی به بسط و حل این مسأله بهینه‌سازی پرداخته شده است.

برای محاسبه SINRهای لازم از مدل کانال تلفات مسیر که به صورت زیر می‌باشد استفاده شده است

$$PL[dB] = ۱۰n\log\frac{d}{d_0} + PL(d_0) \quad (۲)$$

در این رابطه PL تلفات بر حسب دسی‌بل را نشان می‌دهد و d و d_0 فاصله بین دو نقطه مورد نظر و فاصله مرجع برای محاسبه تلفات است.

۳- طرح موازنه بار پیشنهادی

۳-۱ تصمیم بر تشکیل لینک‌های D۲D

به منظور این بررسی مسیرهای فراسو در نظر گرفته شده است. برای حل مسأله بهینه‌سازی (۱) بایستی مشخص شود که دقیقاً منظور از لینک‌های D۲D چیست و چه زمانی این لینک‌ها تشکیل می‌شود. این لینک‌ها در دو صورت ایجاد می‌شوند. حالت اول این که یک MUE نتواند SINR آستانه را که حداقل SINR لازم برای ایجاد اطمینان از صحت اطلاعات ارسالی است، در محل MBS تأمین کند، که این حالت در (۳) نشان داده شده است

$$\gamma_{MUE_MBS} \leq \gamma_{th} \quad (۳)$$

که در این رابطه γ_{th} یک آستانه حداقلی SINR است. حالت دوم این که یک MUE توانی بیش از میانگین مصرف توان کل MUEها در یک بازه زمانی مشخص، مصرف کند که این به معنی نامطلوب‌بودن کیفیت لینک آن کاربر است. این مورد که در (۴) نشان داده شده است نیز موجب تصمیم MBS بر تشکیل لینک D۲D می‌شود

$$P_{MUE}(t) > P_{ave} = \frac{\sum_m P_{MUE}}{M}, \quad t \in [۰, T] \quad (۴)$$

که در این رابطه $P_{MUE}(t)$ توان لحظه‌ای ارسال MUE و P_{ave} توان متوسط ارسالی کل MUEها در بازه زمانی $t \in [۰, T]$ است.

۳-۲ زوج‌سازی کاربران DUE و رله‌ها

پس از مشخص‌شدن DUEها، این کاربران بایستی ابتدا FBS مناسب و سپس رله مناسب برای ارتباط دوپرشی جهت اتصال به FBS جایگزین را انتخاب نمایند. برای انتخاب FBS مناسب معیارهای مختلفی وجود دارد. معیاری که در شبکه‌های سلولی فعلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بالاترین SINR ممکن از طرف ایستگاه‌های پایه مختلف می‌باشد. به گونه‌ای که هر ایستگاه پایه‌ای که قابلیت تأمین SINR بیشتری داشته باشد مورد ترجیح کاربر خواهد بود. اما این معیار در شبکه‌های چندسلولی ناهمگون معیار مناسبی نیست چرا که زیرسلول‌ها ایستگاه‌های پایه با توان

محدودتری نسبت به MBS دارند و این باعث می‌شود که اکثریت کاربران برای اتصال به MBS با یکدیگر رقابت کنند که این موجب اتلاف بسیار زیاد توان کاربران و افت شدید عملکرد سیستم می‌گردد [۲۴].

بنابراین در این شبکه‌ها معیاری متفاوت در نظر گرفته می‌شود که جنبه‌های مختلفی را مورد نظر قرار می‌دهد. معیاری که پیشنهاد می‌گردد ترکیبی از معیارهای فاصله، تعداد کاربران متصل به FBS و ظرفیت استفاده‌شده در FBS است که می‌توان آن را به صورت یک جمع وزن‌دار به صورت (۵) بیان نمود

$$\alpha = \arg\max(w_1 \frac{d_{DUE,FBS_\alpha}}{d_0} + w_2 \frac{n_\alpha}{N_0} + w_3 \frac{T_\alpha}{T_0}) \qquad (۵)$$

در این رابطه، d_{DUE,FBS_α} فاصله بین کاربر DUE با FBS مورد بررسی است. d_0 فاصله‌ای است که برای نرمالیزه‌کردن d_{DUE,FBS_α} از آن استفاده می‌شود و برابر با مجموع فاصله مجاز برای ارتباط D2D و شعاع فمتوسل‌ها در نظر گرفته می‌شود. n_α تعداد کاربران متصل به FBS مورد بررسی اعم از FUEها و DUEها می‌باشد و N_0 تعداد کل کاربران در شبکه را نشان می‌دهد. T_α و T_0 نیز ظرفیت فعلی فمتوسل مورد بررسی و ماکسیمم ظرفیت لینک بکهال را نشان می‌دهند. چنین معیاری تضمین می‌کند که یک DUE برای انتخاب FBS مناسب، به جای کیفیت ارتباط خود، عملکرد کلی شبکه را در نظر گیرد.

حال پس از انتخاب فمتوسل مناسب هر DUE در رنج مجاز ارتباط D2D که محدود به d_{D2D} است، از بین FUEهای داخل فمتوسل انتخابی، نزدیک‌ترین FUE به خود را به عنوان رله مناسب برای ارتباط دوپرشی انتخاب می‌نماید. بدین ترتیب هر DUE که در فاصله کمتر از d_{D2D} حداقل یک FUE را شناسایی کند امکان اتصال به FBS را خواهد داشت.

۳-۳ تخصیص منابع طیفی برای ایجاد لینک‌های D2D

پس از انتخاب رله‌های مناسب بایستی RBهای مناسب جهت ایجاد لینک‌های D2D به زوج‌های DUE و رله اختصاص یابد. در [۲۱] راهکاری ارائه شده که در آن تخصیص منابع به صورت سلول به سلول انجام می‌شود. به این صورت که بهترین منابع برای رله‌های موجود در یک زیرسلول انتخاب می‌شود و سپس نوبت به زیرسلول بعدی می‌رسد. این روش برای یک زیرسلول مجزا روش کارامدی است اما برای مجموع شبکه بهینه نیست. روش پیشنهادی به این صورت است که تمامی زوج‌های متقاضی RB به صورت هم‌زمان و فارغ از زیرسلول‌ها، مورد بررسی قرار می‌گیرند و منابعی که استفاده از آنها کمترین مجموع تداخل را در شبکه ایجاد می‌کند به عنوان منابع بهینه انتخاب می‌شوند.

حال با این توضیح مسأله انتخاب RB مناسب برای تشکیل لینک‌های D2D بیان می‌شود. روشی که منجر به پاسخ بهینه می‌گردد و بهترین زوج‌ها برای اشتراک RB را مشخص می‌کند، روش جستجوی جامع است اما این روش به دلیل حجم محاسباتی بالا عملاً قابل پیاده‌سازی نیست. در اینجا شرطی بیان می‌گردد که این جستجو را محدود به گروهی خاص از کاربران می‌نماید و تنها زوج‌هایی که این شرط را ارضا نمایند برای مراحل بعد در نظر گرفته می‌شوند.

هر MUE که بخواهد RB خود را با یک DUE به اشتراک بگذارد، بایستی بتواند کیفیت ارتباط خود را نیز در سطح قابل قبولی حفظ نماید. بنابراین اگر MUE_m منابع خود را با DUE_d به اشتراک بگذارد بایستی (۶) برای این کاربر برقرار باشد

$$\gamma_{MUE_m,MBS} \geq \gamma_{th}$$
$$\frac{h_{MUE_m,MBS} P_{MUE_m}}{g_{DUE_d,MBS} P_{DUE_d} + \sigma^2} \geq \gamma_{th} \qquad (۶)$$

که در این رابطه $h_{MUE_m,MBS}$ بهره مسیر MUE_m تا MBS است. P_{MUE_m} توان ارسالی MUE_m است. $g_{DUE_d,MBS}$ بهره مسیر تداخلی از DUE_d تا MBS را نشان می‌دهد و P_{DUE_d} نشان‌دهنده توان ارسالی DUE_d می‌باشد. اگر توان ارسالی هر دو کاربر یکسان و برابر با P_0 در نظر گرفته شود، با استفاده از (۲)، (۶) را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد

$$\frac{(d_{MUE_m,MBS})^{-\alpha}}{(d_{DUE_d,MBS})^{-\alpha} + \frac{\sigma^2}{cP_0}} \geq \gamma_{th} \qquad (۷)$$

که در این رابطه، $d_{MUE_m,MBS}$ فاصله کاربر MUE_m با MBS است و c و α به ترتیب ضریب و نمای تلفات مسیر می‌باشند. در صورتی که γ_M برابر با SNR کاربر MUE_m با توان ارسالی $P_0 = P_{MUE}^{\max}$، قبل از اشتراک RB با DUE_d تعریف شود، (۷) را می‌توان به صورت (۸) بازنویسی کرد

$$\frac{(d_{DUE_d,MBS})^{-\alpha} + \frac{\sigma^2}{cP_0}}{(d_{MUE_m,MBS})^{-\alpha}} \leq \gamma_{th}$$
$$(\frac{d_{DUE_d,MBS}}{d_{MUE_m,MBS}})^{-\alpha} + \frac{\sigma^2}{c(d_{MUE_m,MBS})^{-\alpha} P_0} \leq \gamma_{th}$$
$$(\frac{d_{DUE_d,MBS}}{d_{MUE_m,MBS}})^{-\alpha} \leq \frac{1}{\gamma_{th}} - \frac{\sigma^2}{\gamma_M} \qquad (۸)$$
$$d_{DUE_d,MBS} \leq (\frac{1}{\gamma_{th}} - \frac{\sigma^2}{\gamma_M})^{\alpha} d_{MUE_m,MBS}$$

که در این رابطه

$$\gamma_M = \frac{h_{MUE_m,MBS} P_0}{\sigma^2} = \frac{c(d_{MUE_m,MBS})^{-\alpha} P_0}{\sigma^2} \qquad (۹)$$

بدین صورت به ازای هر MUE یک شعاع تقریبی از MBS به دست می‌آید که اگر DUE_d بخواهد از RB کاربر MUE_m استفاده نماید، فاصله آن از MBS بایستی از این شعاع بیشتر باشد. در غیر این صورت تداخل حاصل از آن باعث می‌گردد تا SINR دریافتی از MUE_m از حد آستانه مجاز پایین‌تر باشد. بدین ترتیب انتخاب زوج‌های مناسب برای اشتراک منابع به گروه بسیار کوچک‌تری محدود می‌گردد.

حال برای تخصیص منابع به DUEها برای تشکیل لینک‌های D2D تنها زوج‌های مشخص‌شده که می‌توانند با یکدیگر منابع به اشتراک گذارند در نظر گرفته می‌شوند. بدین صورت که یک ماتریس تداخل I با ابعاد $D \times (K - F_r)$ تشکیل می‌شود که سطرهای آن نشان‌دهنده DUEها و ستون‌های آن نشان‌دهنده منابع موجود برای استفاده DUEها هستند. این منابع یک بار توسط MUEها استفاده شده‌اند. بنابراین استفاده مجدد از این منابع باعث ایجاد تداخل می‌گردد. اگر سمت راست نامساوی به دست آمده در (۸) به صورت $(\frac{1}{\gamma_{th}} - \frac{\sigma^2}{\gamma_M})^{\alpha} d_{MUE_m,MBS} = C_m$ بازنویسی شود، C_m برای هر MUE_m مشخص می‌باشد و با توجه به این موضوع عناصر ماتریس تداخل I به صورت زیر تعریف می‌گردند

$$I = \begin{cases} I_{d,k} & d_{DUE_d,MBS} \leq C_k d_{MUE_k,MBS} \\ \infty & d_{DUE_d,MBS} > C_k d_{MUE_k,MBS} \end{cases} \qquad (۱۰)$$

که در آن $I_{d,k} = g_{MUE_k,FUE_f} P_{MUE_k}$ به معنی تداخل ایجادشده از سوی کاربر MUE_k بر روی ارتباط DUE_d با رله مقصد آن یعنی FUE_f می‌باشد. هدف از تشکیل ماتریس I این است که برای هر DUE بهترین RB که مجموع تداخل در شبکه را مینیمم می‌کند انتخاب شود. بنابراین درایه‌های این ماتریس که متناظر با زوج‌های نامعتبر هستند، برابر یک مقدار بزرگ قرار داده می‌شوند تا امکان انتخاب آنها برای اشتراک منابع از بین رود. در اینجا ماتریس دیگری به نام ماتریس انتساب ρ با ابعاد $D \times (K - F_r)$ تعریف می‌گردد که ستون‌های آن مشخص‌کننده DUEها و سطرهای آن نشان‌دهنده منابع موجود برای استفاده DUEها هستند. درایه‌های این ماتریس مشخص‌کننده استفاده DUE_d از RB کاربر MUE_k می‌باشد. بنابراین مسأله انتخاب منابع بهینه را می‌توان به صورت مسأله (۱۱) نوشت

$$\min_{\rho_{k,d}} I_{tot} = \sum_{d=1}^{D} \sum_{k=1}^{K-F_r} \rho_{k,d} I_{d,k}$$
$$\text{s.t.}$$
$$\sum_{d=1}^{D} \rho_{k,d} = 1 \ , \ \forall k \in \{1,\dots,K-F_r\} \quad (11)$$
$$\sum_{k=1}^{K-F_r} \rho_{k,d} = 1 \ , \ \forall d \in \{1,\dots,D\}$$
$$\rho_{k,d} \in \{0,1\} \ , \ \forall d \in \{1,\dots,D\}, k \in \{1,\dots,K-F_r\}$$

در مسأله فوق شرط اول و دوم بیانگر این نکته است که یک RB تنها می‌تواند توسط یک DUE استفاده شود و همچنین هر DUE فقط و فقط از یک RB می‌تواند استفاده کند. شرط سوم نیز این نکته را بیان می‌کند که عناصر داخل ماتریس تنها اعداد صفر و یک هستند. این یک مسأله انتساب غیر خطی است که می‌توان با الگوریتم Hungarian به پاسخ آن دست یافت. در نتیجه با اعمال این الگوریتم شیوه انتساب مناسب RBها به لینک‌های D۲D به دست می‌آید.

۳-٤ کنترل توان ارسالی کاربران MUE و DUE

بعد از این که منابع بهینه برای هر DUE اختصاص یافت، بایستی توان ارسالی هر دو کاربر MUE و DUE که از یک RB مشترک استفاده می‌کنند به گونه‌ای تنظیم شود که در عین تضمین QoS لازم در هر دو سمت، توان ارسالی هر کدام و در نتیجه تداخل ایجادشده روی دیگری، مینیمم گردد. فرض کنید دو کاربر MUE_m و DUE_d از یک RB مشترک استفاده کنند. در این صورت توان بهینه ارسالی توسط این دو کاربر با $P_{MUE_m}(\min)$ و $P_{DUE_d}(\min)$ مشخص می‌گردند. با استفاده از این تعریف، (۶) برای توان‌های بهینه مطابق (۱۲) بازنویسی می‌گردد

$$\frac{h_{MUE_m,MBS} P_{MUE_m}(\min)}{g_{DUE_d,MBS} P_{DUE_d}(\min) + \sigma^2} \geq \gamma_{th} \quad (12)$$

و از طرفی در سمت DUE_d نیز شرط تأمین SINR بالاتر از آستانه بایستی برقرار باشد. این شرط را برای توان‌های بهینه به صورت (۱۳) می‌توان نوشت

$$\gamma_{DUE_d,FUE_f} \geq \gamma_{th}$$
$$\frac{h_{DUE_d,FUE_f} P_{DUE_d}(\min)}{g_{MUE_m,FUE_f} P_{MUE_m}(\min) + \sigma^2} \geq \gamma_{th} \quad (13)$$

با استفاده از دو رابطه اخیر می‌توان دستگاه معادله‌ای تشکیل داد که توان‌های ارسال مینیمم برای DUE_d و MUE_m که SINR آستانه در هر دو سمت را تضمین می‌کند، به دست آورد. این دستگاه معادلات به صورت زیر خواهد بود

$$\begin{cases} h_{MUE_m,MBS} P_{MUE_m}(\min) - \gamma_{th} g_{DUE_d,MBS} P_{DUE_d}(\min) \\ \quad = \gamma_{th} \sigma^2 \\ \gamma_{th} g_{MUE_m,FUE_f} P_{MUE_m}(\min) - h_{DUE_d,FUE_f} P_{DUE_d}(\min) \\ \quad = -\gamma_{th} \sigma^2 \end{cases} \quad (14)$$

با حل این دستگاه معادلات توان‌های بهینه و مینیمم برای زوج MUE و DUE که منابع یکسانی را استفاده می‌کنند، به دست می‌آید که این توان‌ها حداقل SINR لازم برای ارتباط باکیفیت را در هر دو سمت تضمین می‌نمایند. از آنجایی که فقط آن دسته از کاربرانی بررسی می‌شوند که (۸) برای آنها برقرار باشد، پس دستگاه معادلات (۱۴) برای این کاربران همیشه دارای جواب قابل قبول خواهد بود. با استفاده از توان‌های به دست آمده، شرایط برای تشکیل لینک‌های D۲D مهیا می‌باشد. با تشکیل این لینک‌ها، ظرفیت جدیدی به شبکه افزوده می‌شود. همان طور که قبلاً بیان شد این ظرفیت با T_{D2D} مشخص گردید و برای هر DUE_d که از طریق FUE_f به FBS_α متصل می‌شود، با استفاده از (۱۵) قابل محاسبه خواهد بود

$$T_{D2D} = \frac{1}{2} BW \sum \log_2(1 + \min(\gamma_{DUE_d,FUE_f} + \gamma_{FUE_f,FBS_\alpha})) \quad (15)$$

در این رابطه γ_{DUE_d,FUE_f} نشان‌دهنده SINR در پرش اول از DUE به رله و $\gamma_{FUE_f,FBS_\alpha}$ نشان‌دهنده SINR در پرش دوم از FUE رله به FBS مربوط است. این رابطه را با تقریب نسبتاً خوبی می‌توان به صورت زیر نوشت

$$T_{D2D} = \frac{1}{2} BW \sum \log_2(1 + \gamma_{DUE_d,FUE_f}) \quad (16)$$

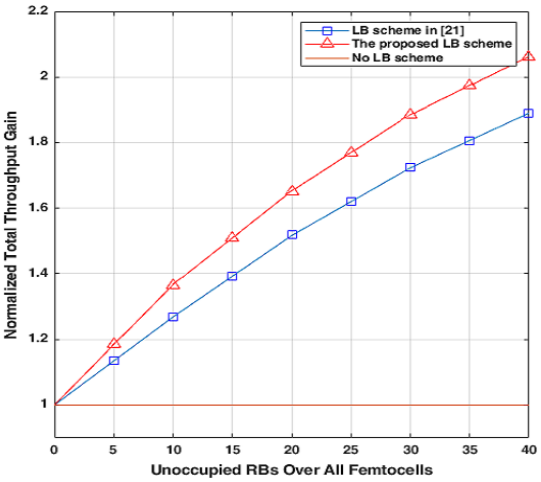
برای توجیه این مورد می‌توان به این نکته اشاره کرد که ارتباط FUE با FBS از نوع ارتباط کاربر با ایستگاه پایه است که از کیفیت لینک بهتری نسبت به ارتباط کاربر به کاربر برخوردار است [۲۵]. همچنین فمتوسل معمولاً یک محیط بسته است [۲۶] که اگر کاربری از بیرون این محیط بخواهد با داخل آن ارتباط برقرار کند حداقل یک بلوک مانع در مقابل خود خواهد دید که موجب تلفات زیادی خواهد شد. بنابراین عامل محدودکننده ظرفیت این ارتباط پرش اول ارتباط می‌باشد.

۳-۵ انتقال بار و سرویس‌دهی کاربران جدید

بعد از این که تمامی DUEها فمتوسل و رله مناسب خود را انتخاب نمودند و منابع برای ایجاد لینک D۲D تخصیص یافت و توان ارسال کاربران مشخص گردید، این اطلاعات از طریق MBS به کاربران ارسال شده و لینک از MBS به FBS منتقل می‌شود و زمانی که کاربر MUE که از ارتباط مستقیم بی‌کیفیتی در ماکروسل اشباع شده رنج می‌برد به فمتوسل جایگزین منتقل گردد منابع آزادشده به کاربران تازه‌وارد اختصاص می‌یابد که موجب افزایش ظرفیت کلی شبکه و پوشش تعداد بیشتری از کاربران می‌شود.

٤- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش الگوریتم ارائه‌شده توسط شبیه‌سازی در نرم‌افزار MATLAB مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مدلی که برای شبیه‌سازی و



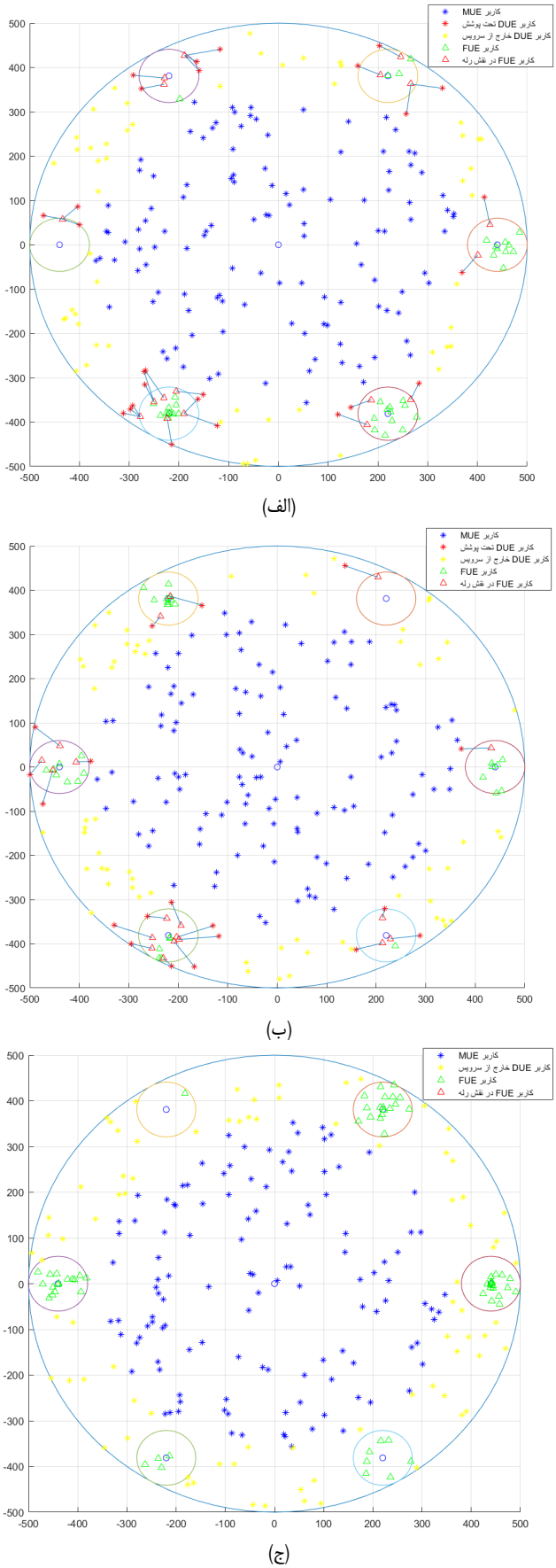
شکل ۴: بهره ظرفیت کلی به ازای منابع استفاده‌نشده در فمتوسل‌ها.

با شعاع ۵۰۰ متر، ۶ فمتوسل در لبه‌های این سلول با شعاع ۶۰ متر، حداکثر ۲۰۰ کاربر MUE در ماکروسل و حداکثر ۲۰ کاربر FUE در هر فمتوسل در نظر گرفته شده است. MBS اشباع‌شده در نظر گرفته شده و توزیع کاربران به صورت تصادفی است. تعداد کل منابع در دسترس K، برابر با ۱۲۰ و تعداد منابعی که صرفاً برای استفاده FUEها است یا همان F_r برابر با ۸۰ لحاظ شده است. پهنای باند هر RB برابر با ۱۸۰ کیلوهرتز و SINR آستانه γ_{th} برای تمامی کاربران و ایستگاه‌های پایه برابر ۲٫۵ dB-، چگالی طیف توان نویز ۱۷۴ dBm-، ماکسیمم توان ارسالی برای کاربران از نوع MUE و FUE برابر با ۲۳ dBm و کاربران از نوع DUE برابر با ۲۰ dBm در نظر گرفته شده است. مدل تلفات مسیر مطابق با آنچه در [۲۷] بیان شده به صورت (۱۷) لحاظ شده است

$$PL(dB) = \begin{cases} ۱۲۷ + ۳۰\log(d) & \text{UE-BS(signal)} \\ ۱۲۸٫۱ + ۳۷٫۶\log(d) & \text{UE-BS(interference)} \\ ۱۴۸ + ۴۰\log(d) & \text{UE-UE(signal,interference)} \end{cases} \quad (۱۷)$$

در شکل ۳-الف تا ۳-ج نحوه پوشش کاربران به ترتیب در طرح‌های پیشنهادی این مقاله، طرح پیشنهادی در [۲۱] و همین طور مدل شبکه ناهمگون بدون ارتباط D۲D و موازنه بار آورده شده است. همان طور که در این شکل‌ها قابل مشاهده است به سبب شیوه انتخاب رله و این که یک رله می‌تواند چندین کاربر را تحت پوشش قرار دهد، تعداد DUEهایی که در طرح پیشنهادی تحت پوشش قرار می‌گیرند نسبت به طرح [۲۱] بیشتر می‌باشد. همچنین واضح است که در صورت عدم وجود ارتباط D۲D هیچ کاربر DUE سرویس داده نخواهد شد.

در شکل ۴ بهره ظرفیت مجموع در فمتوسل‌ها قابل مشاهده است. این بهره مجموع ظرفیت کاربران FUE قبلی در فمتوسل و ظرفیت اضافه‌شده به شبکه است که به واسطه اضافه‌شدن لینک‌های D۲D و سرویس‌دهی کاربران DUE ایجاد شده است. این ظرفیت مجموع به ظرفیت FUEهای قبلی در فمتوسل‌ها نرمالیزه شده است. در این شکل طرح پیشنهادی با طرح ارائه‌شده در [۲۱]- که با عبارت اختصاری "LB Scheme in [۲۱]" مشخص شده- و همچنین شبکه‌ای که طرح موازنه بار اساساً در آن وجود ندارد- که با عبارت اختصاری No LB Scheme نشان داده شده- مقایسه گردیده است. LB در این نام‌گذاری‌ها مخفف عبارت Load Balancing می‌باشد. در شبکه ناهمگونی که ارتباط D۲D در آن وجود ندارد، مشاهده می‌شود که این بهره نرمالیزه‌شده برابر ۱ خواهد بود. در طرح [۲۱] اضافه‌شدن لینک‌های D۲D و سرویس‌دهی کاربرانی که مستقیماً قادر به



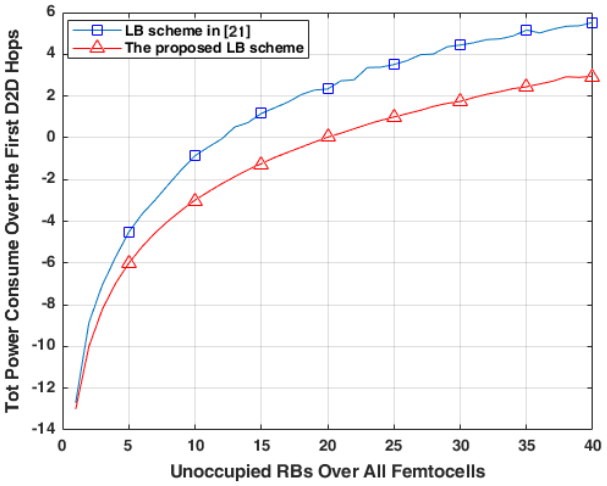
(الف)

(ب)

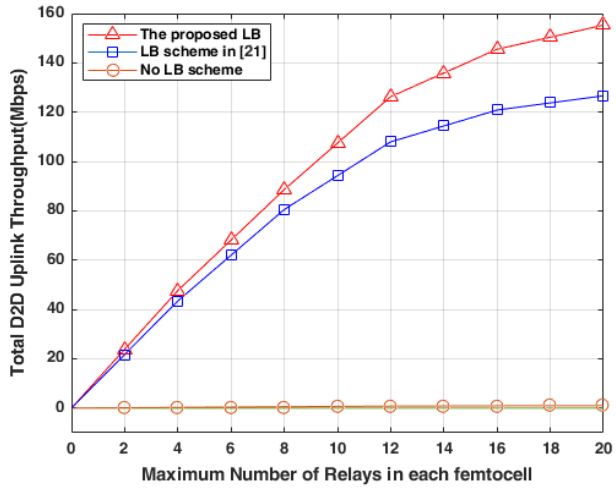
(ج)

شکل ۳: (الف) نحوه پوشش کاربران در طرح پیشنهادی، (ب) نحوه پوشش کاربران در طرح [۲۱] و (ج) نحوه پوشش کاربران در شبکه بدون ارتباط D۲D.

مقایسه با طرح‌های پیشین انتخاب شده است مطابق با آنچه در [۲۱] ارائه گردیده است یک سیستم OFDMA می‌باشد. در این مدل یک ماکروسل



شکل ۵: مصرف توان DUEها به ازای تعداد منابع آزاد در فمتوسل‌ها.



شکل ۶: افزایش ظرفیت کلی در فمتوسل‌ها به ازای ماکسیمم تعداد رله‌های موجود در هر فمتوسل.

ارتباط با MBS نبودند، سبب افزایش ظرفیت شبکه شده است اما این فرض که هر رله تنها قابلیت رله‌کردن اطلاعات یک DUE را داشته باشد، باعث محدودیت در عملکرد این طرح شده است. برتری طرح پیشنهادی در این مقاله، در روش انتخاب رله مناسب برای هر DUE و همچنین استفاده مناسب از مزیت تکنیک دسترسی چندگانه OFDMA است که ما را قادر ساخته است تا از یک FUE برای چند DUE به عنوان رله بهره بریم. بدین معنا که یک رله می‌تواند همزمان از چند باند فرکانسی استفاده نماید و اطلاعات DUEها را به FBS منتقل کند.

معیاری که در [۲۱] برای انتخاب رله استفاده شده است ظرفیت لینک‌ها در پرش اول است که این معیار از نظر توان مصرفی DUEها کاملاً بهینه نیست. در حالی که طرح پیشنهادی علاوه بر تضمین فراهم‌نمودن SINR لازم برای لینک‌های D2D و MUEهایی که اجازه استفاده از منابعشان را می‌دهند، باعث کاهش مصرف توان در DUEها شده که این امر به دلیل انتخاب بهترین زوج‌های کاربر- رله در طرح پیشنهادی است. مقایسه این توان در شکل ۵ آمده است.

در هر طرح موازنه بار هرچه تعداد رله‌های کاندید در فمتوسل‌ها افزایش یابد، انتظار می‌رود که ظرفیت کلی شبکه نیز به همراه آن افزایش یابد. طرح پیشنهادی تخصیص منابع و همچنین زوج‌سازی DUEها و FUEها، این بهره‌وری را افزایش می‌دهد. به طوری که نسبت به طرح پیشنهادی [۲۱] با افزایش تعداد رله‌های کاندید در هر فمتوسل افزایش ظرفیت بیشتری را شاهد هستیم.

در شکل ۶ افزایش ظرفیت کلی در فمتوسل‌ها که شامل ظرفیت لینک‌های FUEها و ظرفیت اضافه‌شده DUEها است نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که نسبت به طرح دیگر عملکردی به مراتب بهتر ارائه می‌کند و مجدداً طرح بدون موازنه بار که از ارتباط D2D نیز استفاده نمی‌کند این بهره را نیز از دست می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

پیاده‌سازی شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم به صورت ناهمگون باعث افزایش کارایی شبکه‌ها از نظر بهره‌برداری مناسب از منابع می‌شود. با استفاده از مزایای تکنولوژی ارتباط D2D و همچنین مزایای مخابرات همکارانه و بهینه‌سازی طرح‌های موازنه بار در شبکه‌های ناهمگون می‌توان بهره‌وری این شبکه‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای ارتقا داد. آنچه در این مقاله ارائه شده است طرحی برای موازنه بار و انتقال حداکثر بار ممکن از ایستگاه پایه مرکزی به ایستگاه‌های پایه در زیرسلول‌ها بود که با معرفی طرح تخصیص منابع طیف، کنترل توان و انتخاب رله مناسب کارایی آن بهینه‌سازی گردید به گونه‌ای که با توجه به منابع موجود در سلول، بیشترین تعداد کاربران پوشش داده شدند و همچنین همه کاربران تحت پوشش، کیفیت خدماتی بالاتر از حد آستانه را دریافت می‌کنند. اگرچه این طرح جنبه‌های ملاحظاتی بیشتری را مانند ارتباط D2D چندپرشی و یا استفاده از ایستگاه‌های پایه چندآنتنه می‌تواند در نظر بگیرد اما این موارد در کارهای آینده مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

مراجع

[1] X. Liu and N. Ansari, "Green relay assisted D2D communications with dual batteries in heterogeneous cellular networks for IoT," *IEEE Internet of Things J.*, vol. 4, no. 5, pp. 1707-1715, Jun. 2017.

[2] X. Lin, J. Andrews, A. Ghosh, and R. Ratasuk, "An overview of 3GPP device-to-device proximity services," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 4, pp. 40-48, May 2014.

[3] G. Yu, Z. Zhang, F. Qu, and G. Y. Li, "Ultra-dense heterogeneous networks with full-duplex small cell base stations," *IEEE Network*, vol. 31, no. 6, pp. 108-114, Aug. 2017.

[4] H. A. Mustafa, *et. al.*, "Spectral efficiency improvements in HetNets by exploiting device-to-device communications," in *Proc. IEEE Globecom Workshops, GC Wkshps'14,* pp. 857-862, Austin, TX, USA, 12-14 Dec. 2014.

[5] H. Boostanimehr and V. K. Bhargava, "Unified and distributed QoS-driven cell association algorithms in heterogeneous networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 14, no. 3, pp. 1650-1662, Nov. 2014.

[6] L. Liang, G. Feng, W. Wang, Y. Jia, and D. Liu, "A hierarchical resource allocation game for heterogeneous networks with relays," in *Proc. IEEE 17th In. Conf. on High Performance Computing and Communications,* pp. 727-733, New York, NY, USA, 24-26 Aug. 2015.

[7] Z. Chen, H. Zhao, Y. Cao, and T. Jiang, "Load balancing for D2D-based relay communications in heterogeneous network," in *Proc. 13th Int. Symp. on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks, WiOpt'15,* pp. 23-29, Mumbai, India, 25-29 May 2015.

[8] T. N. Le, D. Jayalath, and J. Coetzee, "Low complexity throughput optimisation in OFDMA HetNets with heterogeneous services," in *Proc. IEEE 85th Vehicular Technology Conf., VTC Spring'17,* 5 pp., Sydney, Australia, 4-7 Jun. 2017.

[9] S. A. Khan, A. Kavak, K. Kucuk, and M. Asshad, "A new fractional frequency reuse method for interference management in LTE-A HetNets," in *Proc. 27th Signal Processing and Communications Applications Conf., SIU'19,* 4 pp., Sivas, Turkey, 24-26 Apr. 2019.

[10] M. Elhattab, M. M. Elmesalawy, F. M. Salem, and I. I. Ibrahim, "Device-aware cell association in heterogeneous cellular networks: a matching game approach," *IEEE Trans. on Green Communications and Networking*, vol. 3, no. 1, pp. 57-66, Nov. 2018.

[11] M. J. Alam, *et al*., "Improved joint cell association and interference mitigation for LTE-A heterogeneous networks," in *Proc. IEEE 4th Int. Symp. on Telecommunication Technologies, ISTT'18,* 4 pp., Selangor, Malaysia, 26-28 Nov. 2018.

[12] Z. Luan, H. Qu, J. Zhao, and B. Chen, "Low complexity distributed max-throughput algorithm for user association in heterogeneous network," *Wireless Personal Communications*, vol. 87, no. 4, pp. 1147-1156, Apr. 2016.

[13] M. N. Tehrani, M. Uysal, and H. Yanikomeroglu, "Device-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 5, pp. 86-92, May 2014.

[14] P. Gandotra and R. K. Jha, "Device-to-device communication in cellular networks: a survey," *J. of Network and Computer Applications*, vol. 71, no. 1, pp. 99-117, Nov. 2016.

[15] Z. Kuang, G. Liu, G. Li, and X. Deng, "Energy efficient resource allocation algorithm in energy harvesting-based D2D heterogeneous networks," *IEEE Internet of Things J.*, vol. 6, no. 1, pp. 557-567, Feb. 2019.

[16] Z. Chen, H. Zhao, Y. Cao, and T. Jiang, "Load balancing for D2D-based relay communications in heterogeneous network,"in *Proc. 13th Int. Symp. on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks, WiOpt'15,* pp. 23-29, Mumbai, India. 25-29 May 2015.

[17] M. Ali, S. Qaisar, M. Naeem, S. Mumtaz, and J. J. Rodrigues, "Combinatorial resource allocation in D2D assisted heterogeneous relay networks," *Future Generation Computer Systems*, vol. 107, pp. 956-964, Jun. 2017.

[18] A. Omran, L. Sboui, B. Rong, H. Rutagemwa, and M Kadoch, "Joint relay selection and load balancing using D2D communications for 5G HetNet MEC," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Communications Workshops, ICC Workshops'18,* 5 pp., Shanghai, China, 20-24 May.

[19] J. Dai, W. Lv, and F. Ye, "Spectrum allocation scheme based on Stackelberg game in two-tier HetNet," in *Proc. IEEE 13th Int. Conf. on Signal Processing, ICSP'16,* pp. 1270-1274, Chengdu, China, 6-10 Nov. 2016.

[20] H. Zhang, S. Chen, X. Li, H. Ji, and X. Du, "Interference management for heterogeneous networks with spectral efficiency improvement," *IEEE Wireless Communications*, vol. 22, no. 2, pp. 101-107, Apr. 2015.

[21] F. Jiang, Y. Liu, B. Wang, and X. Wang, "A relay-aided device-to-device-based load balancing scheme for multitier heterogeneous networks," *IEEE Internet of Things J.*, vol. 4, no. 5, pp. 1537-1551, Mar. 2017.

[22] H. Zhang, L. Song, and Y. J. Zhang, "Load balancing for 5G ultra-dense networks using device-to-device communications," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 17, no. 6, pp. 4039-4050, Apr. 2018.

[23] E. U. T. R. Access, *Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects, 3GPP TS 36.814*, V9. 0.0, Mar. 2010.

[24] H. Boostanimehr and V. K. Bhargava, "Unified and distributed QoS-driven cell association algorithms in heterogeneous networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 14, no. 3, pp. 1650-1662, Nov. 2014.

[25] Y. Han, L. Jiang, and C. He, "Resource sharing optimization for device-to-device wireless system with femtocells," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Communications, ICC15',* pp. 2535-2540, London, UK, 8-12 Jun. 2015.

[26] Y. Shi, H. Osman, E. Hepsaydir, and J. Wang, "Indoor wireless femtocell measurements," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Communications, ICC15',* pp. 2166-2171, London, UK, 8-12 Jun. 2015.

[27] Y. Han, L. Jiang, and C. He, "Resource sharing optimization for device-to-device wireless system with femtocells," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Communications, ICC15',* pp. 2535-2540, London, UK, 8-12 Jun. 2015.

شهریار غلامی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ در دانشگاه‌های کاشان و صنعتی قم، به پایان رسانده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای تخصیص منابع در شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم، شبکه‌های مخابراتی کم‌توان، شبکه‌های هوشمند سنسوری و اینترنت اشیا.

یاسر عطار ایزی در سال ۱۳۸۱ و ۱۳۸۳ به ترتیب مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد برق گرایش مخابرات را از دانشگاه علم و صنعت ایران دریافت نمود و در سال ۱۳۹۰ دوره دکتری خود را در این دانشگاه در گرایش مخابرات سیستم به اتمام رساند. وی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری، از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱ در دانشگاه مالک اشتر و همچنین سال ۱۳۹۲ در دانشگاه شاهد مشغول تدریس و فعالیت‌های پژوهشی بوده و همچنین از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۸ عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی قم بوده است. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند شبکه‌های چندرله‌ای چندآنتنی, پردازنده‌های DSP و FPGA، سیستم‌های مخابراتی وفقی، کدینگ توربو، OFDM، کانال‌های MIMO، مسائل بهینه‌سازی، سیستم‌های رادار، رادیوی نرم‌افزاری، پردازش تصویر و زبان‌های توصیف سیستم می‌باشد.

سروش اخلاقی در سال ۱۳۷۸ مدرک کارشناسی برق خود را از دانشگاه صنعتی جواجه نصیرالدین طوسی و در سال ۱۳۸۰ مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق مخابرات سیستم از دانشگاه صنعتی امیرکبیر اخذ نمود و همچنین در سال ۱۳۸۶ دوره دکتری خود را در دانشگاه علم و صنعت ایران در گرایش مخابرات سیستم به اتمام رساند. ایشان از سال ۱۳۸۹ تا کنون در دانشگاه شاهد مشغول فعالیت‌های علمی و پژوهشی می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان سیستم‌های چند ورودی چند خروجی (MIMO)، سیستم‌های ذخیره‌سازی توزیع یافته، کدینگ کانال و کدینگ منبع می‌باشند.