

بهینه‌سازی منابع برای سیستم دسترسی چندگانه غیر متعامد در شبکه‌های موبایلی سبز

محسن شهریاری^{۱*} و فرید تابع میانداوب^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۱ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹	دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA) به‌عنوان یکی از تکنیک‌های کلیدی در شبکه‌های موبایلی نسل جدید مطرح است که با استفاده از روش حذف تداخل به‌صورت متوالی (SIC) می‌تواند بهره‌وری طیفی را بهبود ببخشد. با این روش، کاربران می‌توانند از کانال مشترک استفاده کنند. استفاده بهینه از منابع طیفی و توانی و نیز گروه‌بندی کارآمد کاربران، جزء جنبه‌های مهم شبکه‌های مخابراتی سبز NOMA هستند. در این مقاله فرض می‌کنیم کاربران مختلف براساس بهره کانال خود، در سه ناحیه نزدیک، میانی و دور نسبت به ایستگاه پایه در یک سلول پراکنده شده‌اند. برای دوری از بروز تداخل و SIC ناقص در استفاده هم‌زمان از مزیت‌های NOMA، سناریویی شامل گروه‌بندی سه کاربری در نظر می‌گیریم. صرفه‌جویی در منابع طیفی و توانی، از ویژگی‌های سناریوی NOMA سبز است. در ادامه، با هدف تخصیص بهینه منابع در شبکه سلولی NOMA، مسئله بهینه‌سازی ضرایب اختصاصی توان به کاربران را تحت افزایش گذردهی کلی سیستم پیشنهاد می‌کنیم. با اختصاص مناسب توان به ایستگاه پایه و کاربران می‌توان مصرف توان را بهینه کرد و با توان معینی، بهره‌وری مطلوبی در شبکه سلولی فراهم آورد. برای یافتن ضرایب بهینه اختصاصی توان به کاربران، به اثبات مقعر/ محدب بودن مسئله بهینه‌سازی می‌پردازیم. سپس از Lagrangian و شرایط KKT استفاده می‌کنیم. مطابق نتایج به‌دست آمده، طرح پیشنهادی بهبود ۶٫۹۷ درصدی در SNR های پایین و بهبود یک درصدی در SNR های بالا نسبت به NOMA با ضرایب توان ثابت، از نظر ظرفیت کلی فراهم می‌آورد.
واژگان کلیدی: دسترسی چندگانه غیرمتعامد، بهره‌وری طیفی، اختصاص بهینه توان، بهینه‌سازی، مخابرات سبز.	

۱- مقدمه

با رشد سریع دستگاه‌ها و موبایل‌های هوشمند، تقاضا برای ترافیک داده گسترده، ارائه سرویس با سرعت بالا و نیز افزایش کیفیت سرویس، نیاز به توسعه شبکه‌های سلولی و تکنولوژی‌های جدید بیش از پیش احساس می‌شود. از این رو استفاده مؤثر و کارآمد از منابع طیفی و توانی و نیز اختصاص بهینه منابع برای داشتن سیستم مخابراتی مطلوب، امری ضروری خواهد بود [۱]. با این حال، دنیای پرسرعت اطراف ما برای بقا نیاز به صرفه‌جویی و افزایش بهره‌وری در منابع انرژی دارد. از سویی، به دلیل افزایش

گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط زیستی، تأمین انرژی از منابع غیرفسیلی جزء اولویت‌های امروزی قلمداد می‌شود که مدیریت منابع انرژی را می‌طلبد. در سیستم‌های مخابراتی برای افزایش کیفیت سرویس کاربران سلولی و نیز پوشش حجم گسترده تقاضا در حوزه‌های مختلف، نیاز به مصرف منابع انرژی و طیفی بیشتر می‌شود [۱ و ۲]. مصرف انرژی بالا باعث تولید دی‌اکسید کربن می‌شود که آثار مخرب زیست‌محیطی دارد. بنابراین کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه با بالا بردن بهره‌وری انرژی، دلایل اصلی توسعه مخابرات سبز هستند. شبکه‌های

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: shahriari@iut.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان

بهبود می‌بخشد. ایده کلیدی NOMA کشف حوزه توان است که در شبکه‌های موبایل نسل قبل مورد استفاده قرار نمی‌گرفت. همچنین گروه‌بندی کاربران در NOMA موضوع مهمی است که روی عملکرد آشکارسازی و ظرفیت سیستم اثر دارد. NOMA براساس شرایط کانال کاربران، برخی کاربران را گروه‌بندی کرده، اجازه استفاده از منابع پهنای باند/زمان/کد را به صورت مشترک می‌دهد. بدین ترتیب، ظرفیت شبکه را بهبود می‌بخشد. در این روش دسترسی چندگانه، کاربر با شرایط کانال بهتر سیگنال خود را در حضور سیگنال تداخلی دیگر کاربران با روش SIC آشکار می‌کند. همچنین کاربر ضعیف‌تر به دلیل داشتن توان بالا، سیگنال خود را در حضور سیگنال دیگر کاربران به عنوان نویز آشکار می‌کند [۵ و ۶]. در [۷] تأثیر جفت کردن کاربران روی عملکرد دو سیستم NOMA شامل ۱. NOMA با ضرایب اختصاصی توان ثابت و ۲. NOMA رادیو شناختی بررسی شده است.

در چند دهه اخیر، افزایش مصرف انرژی باعث سوق دادن محققان به سمت مفهوم مخابرات سبز با هدف داشتن مخابرات بی‌سیم کارآمد از لحاظ انرژی شده است. کاهش مصرف انرژی با مدیریت مؤثر منابع همراه با افزایش کیفیت سرویس، از جمله اهداف شبکه‌های رادیویی سبز هستند. توزیع انرژی تولیدی از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند با فراهم آوردن انرژی الکتریکی کافی، از انتشار کربن جلوگیری کند. کاهش انتشار دی‌اکسید کربن از سیستم‌ها و حفظ انرژی با کاهش توان ارسالی، دو هدف اصلی شبکه‌های مخابراتی سبز است [۲]. NOMA کارآمد از نظر انرژی یا NOMA سبز به عنوان یکی از معیارهای طراحی شبکه موبایل مدنظر قرار دارد که هدف از آن، کاهش هزینه، خودپایداری و سازگاری با محیط زیست است. سرویس‌دهی شبکه‌های موبایل منجر به تولید کربن می‌شود. بنابراین روش تولید انرژی پایدار قابل صرفه‌جویی، تأثیر زیادی روی آثار زیست‌محیطی و اقتصادی دارد. انتشار کربن تولیدی به وسیله شبکه‌های رادیویی و دستگاه‌های موبایل به دلیل رشد روزافزون ترافیک داده، همچنان به عنوان نگرانی اصلی پابرجاست. بنابراین حفظ بهره‌وری انرژی و پایداری در طراحی سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم اهمیت زیادی دارد. برای بیشتر از یک قرن، بهینه‌سازی معیارهای عملکردی،

ناهمگن، گره‌های رله‌ای و روش‌های دسترسی چندگانه، مانند NOMA^۱ به منظور کاهش توان ارسالی و افزایش طول عمر باتری برای معماری سبز شبکه می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند [۱-۳]. با مدیریت منابع رادیویی در لایه‌های بالایی شبکه و تطبیق مناسب باند فرکانسی، می‌توان با کاهش انرژی و افزایش توان عملیاتی، گامی در زمینه شبکه رادیویی سبز برداشت.

پخش بی‌سیم، ارسال اطلاعات از یک نقطه به چند نقطه از طریق یک فرستنده به چند گیرنده را شامل می‌شود. در سیستم‌های پخش رایج، جداسازی اطلاعات کاربران با استفاده از طرح‌های OMA^۲ صورت می‌گیرد که در آن، منابع زمان یا فرکانس بین گیرنده‌های مختلف شکافته و تقسیم می‌شوند. نوع دیگری از ارسال برای پخش بی‌سیم، NOMA است که در طرف فرستنده سیگنال کاربران را روی هم منطبق می‌کند و از حذف تداخل به صورت متوالی (SIC^۳) در طرف گیرنده استفاده می‌کند [۴]. NOMA به عنوان یکی از تکنیک‌های دسترسی چندگانه در شبکه‌های موبایل نسل پنجم به دلیل داشتن مزیت‌هایی مانند بهره طیفی بالا، تأخیر پایین و پشتیبانی از اتصالات گسترده مورد توجه قرار گرفته است. NOMA از حوزه جدید توان برای پیاده‌سازی دسترسی چندگانه بهره می‌برد که این یعنی یک ایستگاه پایه می‌تواند به چند کاربر در منابع مشترک زمان/فرکانس/کد خدمت دهد. NOMA با برهم‌نهی سیگنال کاربران در طرف فرستنده و استفاده از آشکارسازی SIC در طرف گیرنده، سیگنال کاربران مختلف را با توان‌های متفاوت مالتی‌پلکس کرده، اجازه اشتراک‌گذاری منابع در دسترس، بین کاربران را می‌دهد. به جای استفاده از الگوریتم پر کردن آب برای اختصاص توان، NOMA با هدف ایجاد تعادل بین گذردهی سیستم و خدمت‌رسانی عادلانه به کاربران، توان زیاد را به کاربر با شرایط کانال ضعیف (دورتر از ایستگاه پایه) اختصاص می‌دهد [۵].

استفاده از NOMA، هر کاربر را قادر می‌سازد به همه زیر حامل‌های کانال دسترسی یابد. از این رو منابع پهنای باند اختصاصی برای کاربران با شرایط کانال ضعیف، توسط کاربران با شرایط کانال قوی (نزدیک‌تر به ایستگاه پایه) در دسترس خواهند بود که این به طور مؤثر بازده طیفی را

³ Successive Interference Cancellation

¹ Non-Orthogonal Multiple Access

² Orthogonal Multiple Access

NOMA، الگوریتمی برای گروه‌بندی کارآمد کاربران پیشنهاد شده است. در این الگوریتم، کاربران مختلف برای دستیابی به داده مطلوب خود می‌توانند از NOMA استفاده کنند. از این رو ضمن کنترل تداخل، می‌توانند بهره طیفی سیستم را بالا ببرند. کاربران سلول با استفاده از این الگوریتم مجبور به استفاده از OMA یا NOMA در تداخل با دیگر کاربران نخواهند بود. همچنین با هدف بهبود خدمت‌رسانی عادلانه به کاربران و دستیابی به ظرفیت کلی بالا، دو سناریوی گروه‌بندی کاربران شامل توزیع منابع (توان و پهنای باند) بررسی شده است.

طرح‌های NOMA سبب شبکه بی‌سیم می‌تواند به دو دسته اصلی حوزه توان و کد تقسیم شوند. برای دستیابی به بهره‌وری انرژی در سیستم NOMA حوزه توان، تخصیص منابع و گروه‌بندی کاربران نقش اساسی دارند [۱۳]. به‌منظور دستیابی به عملکرد مطلوب در سیستم NOMA، هر دو طرح اختصاص توان و گروه‌بندی کاربران در [۱۴] به‌صورت بهینه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. استراتژی حداقل کردن توان به‌صورت وفقی با هدف کاهش توان مصرفی و گروه‌بندی بهینه کاربران برای یک زیر-کانال معین پیاده شده است. در [۱۵] الگوریتمی شامل اختصاص توان و زمان‌بندی ارسال برای مسئله حداکثرسازی بهره‌وری انرژی در سیستم NOMA پیشنهاد شده است. در [۱۶] برای NOMA مطابق با محدوده توان‌های ارسالی ممکن، استراتژی اختصاص بهینه توان برای بهره‌وری انرژی بهینه پیشنهاد شده است. با در نظر گرفتن محدودیت‌های کیفیت سرویس کاربران و نیز حداکثر توان ارسالی، طرح اختصاص پویای توان به کاربران و کارآمد از نظر انرژی در [۱۷] پیشنهاد شده است. متفاوت با طرح‌های کارآمد انرژی برای سیستم‌های NOMA چندآنتنی، تکنیک شکل‌دهی طیفی کارآمد از نظر انرژی برای این ارسال‌ها نیز می‌تواند در نظر گرفته شود [۱۸]. در [۱۹] برای شبکه بی‌سیم سبب نسل پنجم، NOMA وفقی به همراه رله مشارکتی برای افزایش گستره پوشش شبکه و حفظ انرژی مطالعه شده است. رله مشارکتی با هدف کمک به کاربران با بهره کانال ضعیف با مصرف توان پایین می‌تواند در عین حفظ انرژی، عملکرد کاربر ضعیف کانال را بهبود ببخشد. NOMA به‌دلیل خدمت‌رسانی هم‌زمان به چند کاربر از طریق حوزه توان می‌

مانند نرخ داده، گذردهی و تأخیر، توجه زیادی را به خود معطوف کرده است. با این حال، در یک دهه پیش، بهره‌وری انرژی به‌عنوان ارزش برجسته در اقتصاد و محیط زیست مطرح شده است [۳ و ۸]. با در نظر گرفتن مصرف انرژی برای حجم گسترده‌ای از اطلاعات و تکنولوژی‌های مخابراتی، بهبود بهره‌وری انرژی در NOMA برای شبکه‌های نسل جدید اهمیت بالایی پیدا می‌کند. NOMA تکنیک مخابراتی قابل انعطاف است که می‌تواند از اتصالات گسترده هم‌زمان با باند فرکانسی در دسترس پشتیبانی کند. NOMA با اختصاص سطوح متفاوت توان می‌تواند به کاربران زیادی در منابع زمانی، فرکانسی یا کد به‌صورت مشترک سرویس دهد [۹].

در ادامه مقاله، در بخش ۲ پژوهش‌ها و کارهای مرتبط بیان می‌شود. در بخش ۳ به معرفی مدل سیستم و فرمول‌بندی مسئله می‌پردازیم. در بخش ۴ مدل مورد نظر را با استفاده از نتایج عددی و با نرم‌افزار MATLAB مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. سرانجام در بخش ۵ به بیان نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی در راستای مدل سیستم مورد نظر می‌پردازیم.

۲- پژوهش‌های مرتبط

با هدف کاهش تداخل و افزایش ظرفیت سیستم، NOMA می‌تواند با $MIMO^1$ ترکیب شود. NOMA با گروه‌بندی کاربران و استفاده از SIC، تداخل درون-گروهی را کاهش می‌دهد. در عین حال MIMO با شکل‌دهی طیفی می‌تواند تداخل بین گروهی را حذف کند. در سیستم‌های چندآنتنی با تنظیم پرتو آنتن می‌توان از اتلاف انرژی در جهت‌های ناخواسته جلوگیری کرد و با کنترل تداخل امواج بهره‌وری انرژی را بالا برد. در [۱۰] با ترکیب NOMA و MIMO، نویسندگان طرحی شامل شکل‌دهی طیفی با پیچیدگی پایین و گروه‌بندی کارآمد کاربران برای دستیابی به اتصالات گسترده، تأخیر پایین و ظرفیت بالا در ارسال‌های چندکاربری MIMO-NOMA پیشنهاد کرده‌اند. در [۱۱] ترکیب NOMA با موج میلی‌متری برای استفاده در شبکه‌های اینترنت اشیا بررسی شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد NOMA نسبت به OMA معیار احتمال قطعی در سیستم‌های مخابراتی دستگاه به دستگاه^۲ را با ارسال‌های موج میلی‌متری بهبود می‌بخشد. در [۱۲] با هدف کنترل تداخل و دوری از بروز SIC ناقص در

² Device to Device (D2D)

¹ Multiple Input Multiple Output

تواند کارایی انرژی را بالا ببرد [۲۰]. در [۲۱] مسئله بهینه‌سازی کارایی انرژی با استفاده از یادگیری ماشینی در سیستم NOMA بررسی شده است که نشان می‌دهد ترکیب این دو تکنیک بهره‌وری انرژی را بهبود می‌بخشد. گرچه حداقل کردن توان مورد استفاده می‌تواند به‌عنوان هدف ارسال‌های انرژی-کارآمد قلمداد شود، نتایج این نوع پیاده‌سازی بهره‌وری طیفی لازم را نخواهند داشت [۲۲]. با هدف دستیابی به بهره‌ی طیفی بالا با حداقل توان و نیز داشتن ارسال‌های کارآمد از لحاظ انرژی، حداکثرسازی نرخ بیت کانال تحت مصرف توان مشخص می‌تواند مدنظر باشد [۲۳]. پژوهش‌هایی در ارتباط با سیستم‌های بهینه و سبز صورت گرفته است. با هدف بهبود موقعیت‌یابی دقیق و سریع گره‌های حسگر، الگوریتمی مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات در شبکه اینترنت اشیا در [۲۴] پیاده شده است. با استفاده از نظریه آشوب، همگرایی الگوریتم می‌تواند بهبود یابد و از قرار گرفتن در نقاط بهینه محلی جلوگیری شود. با مدیریت مناسب وسایل با قابلیت جابه‌جایی زمان استفاده، می‌توان هزینه تأمین انرژی را کاهش داد و در زمان‌های اوج مصرف به شبکه کمک کرد. در [۲۵] با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی در خانه‌های هوشمند و به حداقل رساندن هزینه تأمین انرژی، مدلی خطی آمیخته با اعداد صحیح با در نظر گرفتن بارهای دارای قابلیت جابه‌جایی زمان فعالیت، خودروی الکتریکی با قابلیت عملکرد خودرو به خانه، سیستم ذخیره‌ساز انرژی و نیز سیستم فتوولتائیک پیشنهاد شده است. در [۲۶] به‌منظور بهینه‌سازی میزان مصرف سوخت و نیز میزان آلاینده‌ها، روشی جدید در کنترل خودروهای هیبریدی با مدیریت بهینه در توزیع توان بین موتورهای احتراقی و الکتریکی پیشنهاد شده است.

امروزه افزایش گذردهی و بهره‌وری طیفی برای پاسخ به نیازهای شبکه‌های نسل جدید ضروری است. بهینه‌سازی منابع در دسترس به‌عنوان یک طرح عملی می‌تواند برای بهبود کیفیت سرویس در نظر گرفته شود. در [۲۷] با هدف حداکثرسازی نرخ کلی سیستم که به‌طور هم‌زمان محدودیت‌های NOMA را برآورده می‌کند، بردار پیش-کدگذاری در سیگنال‌های ارسالی سیستم چندآنتنی طراحی شده است. همچنین با تقریب مسئله با استفاده از الگوریتم Minorization-Maximization، به حل مسئله بهینه‌سازی غیرمحدب پرداخته شده است. در [۲۸] عملکرد

بهینه نرخ کلی در سیستم‌های NOMA نسبت به OMA با فرض خدمت‌رسانی عادلانه به کاربران، از لحاظ ریاضی مقایسه شده است. در [۲۹] مسئله حداکثرسازی نرخ کلی برای سیستم NOMA در حالت فروسو و SIC ناقص، منوط به حداقل نرخ مورد نیاز کاربران بررسی شده است. در [۳۰] سیستم NOMA در حالت فروسو از لحاظ گروه‌بندی کاربران مطالعه شده است. مسئله بهینه‌سازی گروه‌بندی کاربران براساس حداکثرسازی نرخ کلی فرمول‌بندی شده است. همچنین عملکرد مطلوب سناریوی پیشنهادی در مقایسه با طرح‌های مشابه نشان داده شده است. در [۳۱] مسئله اختصاص توان بهینه در سیستم فروسوی NOMA با فرض در دسترس بودن متوسط اطلاعات حالت کانال در فرستنده مطالعه شده است. در ابتدا مسئله حداقل‌سازی توان ارسالی و حداکثرسازی نرخ خدمت‌رسانی عادلانه منوط به محدودیت نرخ قطعی بررسی شده است. نتایج حاصل از این مقاله نشان می‌دهد NOMA توان ارسالی را کاهش داده، نرخ خدمت‌رسانی عادلانه را بهبود می‌بخشد. در [۳۲] برای NOMA در هر دو حالت فروسو و فراسو، مسئله بهینه‌سازی گذردهی کلی تحت محدودیت‌های توان ارسالی، حداقل نرخ کاربران و آشکارسازی SIC فرمول‌بندی شده است. برای طرح گروه‌بندی کاربران، توان‌های بهینه در فرم بسته برای سیستم NOMA در هر دو حالت فروسو و فراسو به دست آمده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد عملکرد NOMA با افزایش سایز گروه‌ها از حد معینی بدتر خواهد شد.

طبق کارهای پیشین انجام‌شده، داشتن سیستم NOMA با بهره‌وری طیفی و انرژی بالا نیازمند شبکه‌های مخابراتی حال و آینده است. همچنین دستیابی به اتصالات گسترده بدون تداخل برای شبکه‌های موبایلی سبز از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو پاسخ به نیازهای مخابرات سبز در راستای بهبود عملکرد با صرفه‌جویی منابع در دسترس امری ضروری است. از سویی، در تمام سناریوهای NOMA، اختصاص منابع بین کاربران و گروه‌بندی آن‌ها جزو اولویت‌های اصلی هستند. در این مقاله با الهام از سناریوی NOMA پیشنهادی در [۱۲]، به حداکثرسازی گذردهی کلی گروه‌های سه کاربری می‌پردازیم. در این باره، مسئله بهینه‌سازی تحت قیدهای محدودیت انجام SIC، محدودیت توان کلی ارسالی و حداقل نرخ مورد نیاز کاربران

فرم-بسته توان‌های بهینه را به دست می‌آوریم که می‌توانند گذردهی کلی سیستم را حداکثر کنند.

۳- مدل سیستم و فرمول‌بندی مسئله

با الهام از [۱۲]، فرض کنید در یک سلول و در حالت فروسو، M کاربر با شرایط کانال $|h_1|^2 < |h_2|^2 < \dots < |h_M|^2$ برای تشکیل جفت انتخاب شده باشند که در آن h_m و $|h_m|^2$ به ترتیب بیانگر ضریب کانال و بهره کانال m امین کاربر هستند. ضرایب کانال دارای توزیع گوسی مختلط با میانگین صفر و واریانس $d^{-\nu}$ هستند که d بیانگر فاصله کاربر از ایستگاه پایه و ν بیانگر توان تلفی مسیر است؛ یعنی $h_m \sim CN(0, d_m^{-\nu})$. ضرایب اختصاصی توان به کاربران به صورت $p_1 > p_2 > \dots > p_M$ مرتب شده‌اند که در آن، p_m ضریب اختصاصی توان m امین کاربر است. کاربر M ام، به عنوان نزدیک‌ترین کاربر به ایستگاه پایه تعریف شده است. سیگنال مالتی‌پلکس شده ارسالی $x = \sum_{m=1}^M \sqrt{p_m} s_m$ است که در آن، P توان کل ارسالی و s_m سیگنال ارسالی m امین کاربر است. سیگنال دریافتی m امین کاربر $y_m = h_m x + n_m$ است که در آن، n_m نویز سفید گوسی جمع‌شونده، m امین کاربر با میانگین صفر است. متغیرهای مورد استفاده در این مقاله به صورت جدول ۱ خواهد بود. با این حال، گذردهی کلی M کاربر جفت‌شده می‌تواند به صورت (۱) بیان شود [۳]:

$$R_{total} = \sum_{m=1}^{M-1} \log_2 \left(1 + \frac{p_m \gamma_m}{\gamma_m \sum_{i=m+1}^M p_i + 1} \right) + \log_2 (1 + p_M \gamma_M) \quad (1)$$

که در آن، $\gamma_m = \rho |h_m|^2$ و ρ بیانگر نسبت توان سیگنال به نویز (Signal-to-Noise-Ratio (SNR)) است. کاربر M ام سیگنال خود را بعد از حذف تمام سیگنال‌های تداخلی با روش SIC آشکار می‌کند. شرط کافی روی توان‌ها، برای آشکارسازی موفق در گیرنده از طریق روش SIC به صورت (۲) تعریف می‌شود [۳۳]:

$$p_m \gamma_{m+1} - \sum_{i=m+1}^M p_i \gamma_{m+1} - 1 \geq \theta; \quad (2)$$

where $m = 1, 2, \dots, M-1$

را طرح می‌کنیم. سهم اصلی مقاله به صورت زیر قابل بیان است:

- در این سیستم NOMA یک ایستگاه پایه در حالت فروسو با استفاده از شکاف توانی، اطلاعات را به کاربران ارسال می‌کند. کاربران مختلف در سلول هم با استفاده از ویژگی حذف تداخل به صورت متوالی، به آشکارسازی سیگنال خود می‌پردازند. در سمت فرستنده، ایستگاه پایه سیگنال کاربران را برهم‌نهی کرده، در یک زمان مشترک ارسال می‌کند. با هدف دوری از بروز تداخل، هر گروه NOMA شامل سه کاربر نزدیک، میانی و دور خواهد بود. کاربران میانی و دور در این تکنیک NOMA، باند فرکانسی مشترک نخواهند داشت.
- با هدف کاهش توان مصرفی و نیز داشتن سیستم کارآمد از لحاظ انرژی، مسئله بهینه‌سازی در سیستم NOMA را پیاده می‌کنیم. با استفاده از این مسئله بهینه‌سازی، کاربران مختلف در سلول با شرایط کانال مختلف، متناسب با کیفیت سرویس خود، توان‌های مختلف دریافت خواهند کرد. با استفاده از این ویژگی می‌توان توان بیشتر را به کاربر با شرایط کانال بهتر اختصاص داد و از اتلاف توان در کانال‌های محوشدگی عمیق جلوگیری کرد.
- تکنیک سه کاربری NOMA با افزایش تعداد کاربران در یک گروه با هدف دستیابی به اتصالات گسترده هم‌زمان با کاهش تداخل، نیاز به پهنای باند بیشتر و مصرف توان بالا را کاهش می‌دهد که با این ویژگی‌ها جنبه‌ای از مخابرات سبز تحت NOMA را فراهم می‌کند.
- با هدف دستیابی به بهره طیفی بالا و بهینه‌سازی منابع در سیستم NOMA، مسئله حداکثرسازی گذردهی کلی سیستم تحت قیدهایی شامل مصرف توان معین، حداقل نرخ مورد نیاز کاربران و محدودیت‌های عملکردی SIC در گیرنده را فرمول‌بندی می‌کنیم. در نهایت به اثبات محدب/مقعر بودن مسئله می‌پردازیم و با شرایط KKT^۱

^۱ Karush-Kuhn-Tucker

$$C2: p_i \gamma_i \geq \left(\sum_{j=i+1}^M p_j \gamma_j + 1 \right) (2^{R_i} - 1); \quad (4)$$

where $i = 1, 2, \dots, M$

با در نظر گرفتن مدل سیستم NOMA سه‌کاربری [۱۲]، فرض می‌کنیم سه کاربر دور، میانی و نزدیک به ترتیب با ضرایب کانال متناظر h_1, h_2, h_3 تشکیل یک گروه می‌دهند. برای جلوگیری از بروز تداخل و انتشار خطا فرض می‌کنیم دو کاربر میانی و دور باند فرکانسی مشترکی ندارند. کاربران میانی و دور باند فرکانسی مشترک با کاربر نزدیک در نصف پهنای باند کلی سیستم خواهند داشت. ایستگاه پایه سیگنال کاربران را در حالت فرسو با توان‌های مختلف برهم‌نهی و ارسال می‌کند. سناریوی NOMA مطرح با پیشگیری از تداخل و عدم نیاز به گسترش منابع توانی و فرکانسی، ویژگی مخابرات سبز NOMA را فراهم می‌آورد. از این رو، مسئله بهینه‌سازی سیستم NOMA سه‌کاربری می‌تواند به صورت (۵) بیان شود (برای استفاده در بخش‌های بعدی، عنوان مسئله ۱ برای طرح بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود).

$$\begin{aligned} & \max_{\{p_1, \dots, p_M\}} \hat{R} \\ & \text{subject to:} \\ & C1: \sum_{i=1}^M p_i \leq P \\ & C2: \log_2 \left(1 + \frac{p_i \gamma_i}{\sum_{j=i+1}^M p_j \gamma_j + 1} \right) \geq R_i; \forall i = 1, \dots, M \quad (5) \\ & C3: p_i \gamma_{i+1} - \sum_{j=i+1}^M p_j \gamma_{i+1} - 1 \stackrel{\forall i=1, 2, \dots, M-1}{\geq} \theta; \\ & C4: p_i > 0; \forall i = 1, \dots, M \end{aligned}$$

که در آن، تابع هدف مسئله فوق به صورت (۶) خواهد بود [۱۲]:

$$\begin{aligned} \hat{R} = & \frac{B}{2} (2 \log_2 (1 + p_3 \gamma_3) \\ & + \min \{ \log_2 (1 + \frac{p_2 \gamma_2}{p_3 \gamma_2 + 1}), \log_2 (1 + \frac{p_2 \gamma_3}{p_3 \gamma_3 + 1}) \} \\ & + \min \{ \log_2 (1 + \frac{p_1 \gamma_1}{p_3 \gamma_1 + 1}), \log_2 (1 + \frac{p_1 \gamma_3}{p_3 \gamma_3 + 1}) \}) \quad (6) \end{aligned}$$

پارامتر B بیانگر پهنای باند اختصاصی و $\gamma_3 > \gamma_2 > \gamma_1$ است. با محاسبه Hessian تابع هدف مسئله فوق،

جدول ۱- تعریف متغیرها

متغیر	تعاریف
M	تعداد کل کاربران در سلول
h_i	ضریب کانال کاربر i ام
d	فاصله کاربر از ایستگاه پایه
v	توان تلفی مسیر
p_i	توان کاربر i ام
s_i	سیگنال کاربر i ام
P	توان کل
n	نویز در سیگنال دریافتی
R_i	گذردهی کاربر i ام
ρ	نسبت توان سیگنال به توان نویز ارسالی
γ	نسبت توان سیگنال به توان نویز دریافتی
θ	حداقل اختلاف بین توان سیگنال آشکار شده و توان سیگنالی تداخلی به اضافه نویز
$\zeta, \psi, \mu, \lambda$	ضرایب Lagrange نظیر قیود نامساوی
B	پهنای باند سیستم

متغیر θ بیانگر حداقل اختلاف بین توان سیگنال آشکار شده و توان سیگنالی تداخلی به اضافه نویز است. بنابراین، مسئله اختصاص توان بهینه به کاربران تحت حداکثرسازی گذردهی کلی کاربران به صورت (۳) قابل بیان خواهد بود [۳۲]:

$$\max_{\{p_1, \dots, p_M\}} \sum_{i=1}^M \log_2 \left(1 + \frac{p_i \gamma_i}{\sum_{j=i+1}^M p_j \gamma_j + 1} \right)$$

subject to:

$$C1: \sum_{i=1}^M p_i \leq P \quad (3)$$

$$C2: \log_2 \left(1 + \frac{p_i \gamma_i}{\sum_{j=i+1}^M p_j \gamma_j + 1} \right) \geq R_i; \forall i = 1, \dots, M$$

$$C3: p_i \gamma_{i+1} - \sum_{j=i+1}^M p_j \gamma_{i+1} - 1 \stackrel{\forall i=1, \dots, M-1}{\geq} \theta;$$

$$C4: p_i > 0, \forall i = 1, \dots, M$$

قید C1 محدودیت کل توان ارسالی، قید C4 توان‌های مثبت اختصاصی به کاربران، قید C3 شرط SIC در گیرنده و قید C2 حداقل نرخ هر کاربر را در سیستم NOMA نشان می‌دهند. قید C2 را می‌توان به صورت (۴) نیز نمایش داد که بیانگر قید خطی نسبت به توان اختصاصی است.

درایه‌های ماتریس Hessian به صورت (۷) خواهند بود:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \hat{R}}{\partial p_1^2} & \frac{\partial^2 \hat{R}}{\partial p_1 \partial p_2} & \frac{\partial^2 \hat{R}}{\partial p_1 \partial p_3} \\ \frac{\partial^2 \hat{R}}{\partial p_2 \partial p_1} & \frac{\partial^2 \hat{R}}{\partial p_2^2} & \frac{\partial^2 \hat{R}}{\partial p_2 \partial p_3} \\ \frac{\partial^2 \hat{R}}{\partial p_3 \partial p_1} & \frac{\partial^2 \hat{R}}{\partial p_3 \partial p_2} & \frac{\partial^2 \hat{R}}{\partial p_3^2} \end{bmatrix} \quad (۷)$$

$$= \frac{\mathbf{B}}{2} \begin{bmatrix} \hat{\alpha}_{11} & \hat{\alpha}_{12} & \hat{\alpha}_{13} \\ \hat{\alpha}_{21} & \hat{\alpha}_{22} & \hat{\alpha}_{23} \\ \hat{\alpha}_{31} & \hat{\alpha}_{32} & \hat{\alpha}_{33} \end{bmatrix}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{\alpha}_{11} = -\min \left\{ \left(\frac{\gamma_1}{1+(p_1+p_3)\gamma_1} \right)^2, \left(\frac{\gamma_3}{1+(p_1+p_3)\gamma_3} \right)^2 \right\} \\ \hat{\alpha}_{22} = -\min \left\{ \left(\frac{\gamma_2}{1+(p_2+p_3)\gamma_2} \right)^2, \left(\frac{\gamma_3}{1+(p_2+p_3)\gamma_3} \right)^2 \right\} \\ \hat{\alpha}_{12} = \hat{\alpha}_{21} = 0; \text{ Non-overlapping frequency band} \\ \hat{\alpha}_{13} = \hat{\alpha}_{31} = \hat{\alpha}_{11}; \hat{\alpha}_{23} = \hat{\alpha}_{32} = \hat{\alpha}_{22} \\ \hat{\alpha}_{33} = \min \left\{ \left[\left(\frac{\gamma_1}{(1+p_3\gamma_1)} \right)^2 - \left(\frac{\gamma_1}{1+(p_1+p_3)\gamma_1} \right)^2 \right], \left[\left(\frac{\gamma_3}{(1+p_3\gamma_3)} \right)^2 - \left(\frac{\gamma_3}{1+(p_1+p_3)\gamma_3} \right)^2 \right] \right\} \\ \quad + \min \left\{ \left[\left(\frac{\gamma_2}{(1+p_3\gamma_2)} \right)^2 - \left(\frac{\gamma_2}{1+(p_2+p_3)\gamma_2} \right)^2 \right], \left[\left(\frac{\gamma_3}{(1+p_3\gamma_3)} \right)^2 - \left(\frac{\gamma_3}{1+(p_2+p_3)\gamma_3} \right)^2 \right] \right\} \\ \quad - 2 \left(\frac{\gamma_3}{1+p_3\gamma_3} \right)^2 \end{array} \right. \quad (۸)$$

از طرفی، برای Positive Definite (PD) بودن ماتریس Hessian باید $d'_i > 0$, $i = 1, 2, 3$ باشد [۳۳]. از آنجایی که در ماتریس Hessian مسئله بهینه‌سازی محدب هدف مسئله بهینه‌سازی اکیداً مقعر خواهد بود. از طرفی، قیود نامساوی C1 تا C4 توابع خطی نسبت به توان کاربران بوده، محدب/مقعر هستند. بنابراین مسئله بهینه‌سازی محدب و شرایط Slater برقرار است. در این صورت، شرایط KKT شرایط لازم و کافی برای حل بهینه مسئله اصلی خواهد بود و می‌توان Lagrangian و شرایط KKT را برای آن نوشت [۳۴]. Lagrangian مسئله بهینه‌سازی به صورت (۱۱) خواهد بود.

بنابراین درایه‌های ماتریس فوق برای سیستم NOMA سه‌کاربری به صورت (۸) خواهند بود.

از طرفی، با محاسبه دترمینان زیر ماتریس‌های بالا و سمت چپی ماتریس فوق برای تعیین PSD^۱ بودن، داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} d'_1 = |\hat{\alpha}_{11}| = \hat{\alpha}_{11} < 0 \\ d'_2 = (\hat{\alpha}_{22} \times \hat{\alpha}_{11}) > 0 \\ d'_3 = \underbrace{(\hat{\alpha}_{22} \times \hat{\alpha}_{11})}_{>0} \times \underbrace{(\hat{\alpha}_{33} + (-\hat{\alpha}_{22} - \hat{\alpha}_{11}))}_{>0} \end{array} \right. \quad (۹)$$

برای تعیین علامت d'_3 ، از آنجایی که عبارت‌های داخل آرگومان تابع $\min\{\cdot\}$ همگی کوچک‌تر از یک هستند و با توان رساندن باز کوچک‌تر خواهند شد و همچنین با در نظر گرفتن ویژگی‌های بیان شده در (۱۰)، $d'_3 < 0$ خواهد بود.

^۱ Positive semi definite

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \left\{ \left[\frac{\gamma_1}{(1+p_3\gamma_1)} \right]^2 - \left[\frac{\gamma_1}{(1+(p_1+p_3)\gamma_1)} \right]^2, \left[\frac{\gamma_3}{(1+p_3\gamma_3)} \right]^2 - \left[\frac{\gamma_3}{(1+(p_1+p_3)\gamma_3)} \right]^2 \right\} \\ < \min \left\{ \left(\frac{\gamma_1}{1+(p_1+p_3)\gamma_1} \right)^2, \left(\frac{\gamma_3}{1+(p_1+p_3)\gamma_3} \right)^2 \right\}; \\ \min \left\{ \left[\frac{\gamma_2}{(1+p_3\gamma_2)} \right]^2 - \left[\frac{\gamma_2}{(1+(p_2+p_3)\gamma_2)} \right]^2, \left[\frac{\gamma_3}{(1+p_3\gamma_3)} \right]^2 - \left[\frac{\gamma_3}{(1+(p_2+p_3)\gamma_3)} \right]^2 \right\} \\ < \min \left\{ \left(\frac{\gamma_2}{1+(p_2+p_3)\gamma_2} \right)^2, \left(\frac{\gamma_3}{1+(p_2+p_3)\gamma_3} \right)^2 \right\} \end{array} \right. \quad (10)$$

$$L(P, \lambda, \mu, \psi, \zeta) = \hat{R} + \lambda \left(\sum_{i=1}^M p_i - P \right) + \sum_{i=1}^M \mu_i \left\{ \left(\sum_{j=i+1}^M p_j \gamma_j + 1 \right) (2^{R_i} - 1) - p_i \gamma_i \right\} + \sum_{i=1}^{M-1} \psi_i \left\{ \sum_{j=i+1}^M p_j \gamma_{i+1} + 1 + \theta - p_i \gamma_{i+1} \right\} - \sum_{i=1}^M \zeta_i p_i \quad (11)$$

چون مسئله اولیه محدب بوده و شرایط Slater برقرار است، مقدار بهینه مسئله اصلی و مسئله دوگان یکسان خواهد بود [۳۱]. همچنین ضرایب Lagrange بهینه به‌عنوان جواب‌های مسئله دوگان به‌صورت جداگانه قابل دستیابی هستند. از طرفی، به‌عنوان یکی از حداقل‌کننده‌های Lagrangian است. بنابراین شرایط بهینگی برای یافتن توان‌های بهینه می‌تواند به‌صورت (۱۳) بیان شود [۳۲]: شرط (A3) بیانگر روش SIC برای آشکارسازی موفق است که باید در حالت اکید برقرار باشد. درنهایت برای (۱۳) می‌توان نوشت:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1^* + p_2^* + p_3^* = P \\ \min \left(\frac{p_1^* \gamma_1}{p_3^* \gamma_1 + 1}, \frac{p_1^* \gamma_3}{p_3^* \gamma_3 + 1} \right) = 2^{\frac{2R_1}{B}} - 1 \\ \min \left(\frac{p_2^* \gamma_2}{p_3^* \gamma_2 + 1}, \frac{p_2^* \gamma_3}{p_3^* \gamma_3 + 1} \right) = 2^{\frac{2R_2}{B}} - 1 \\ p_3^* \gamma_3 > 2^{\frac{R_3}{B}} - 1; p_1^*, p_2^*, p_3^* > 0 \end{array} \right. \quad (14)$$

با حل دستگاه معادلات فوق، توان‌های بهینه را در فرم- بسته خواهیم داشت. چون p_1^*, p_2^* در دو عبارت داخل آرگومان $\min\{\cdot\}$ به‌صورت مشترک هستند، می‌توانند از $\min\{\cdot\}$ بیرون آورده شوند؛ بنابراین می‌توان روابط (۱۵) را نوشت:

که در آن، $\lambda, \mu_i, \psi_i, \zeta_i$ بیانگر ضرایب Lagrange نظیر قیود نامساوی هستند. همچنین شرایط KKT به‌صورت (۱۲) خواهد بود:

$$\text{KKT: } \left\{ \begin{array}{l} C1, C2, C3, C4; \\ \lambda^* \geq 0, \mu_i^* \geq 0, \psi_i^* \geq 0, \\ \zeta_i^* \geq 0; \\ \text{Four complementary slackness} \\ \text{conditions;} \\ \frac{\partial L}{\partial p_i} = 0. \end{array} \right. \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial \lambda^*} = \sum_{i=1}^M p_i^* - P = 0 \quad (A1) \\ \frac{\partial L}{\partial \mu_i^*} = \\ p_i^* \gamma_i - \left(\sum_{j=i+1}^M p_j^* \gamma_j + 1 \right) (2^{R_i} - 1) \geq 0; \quad (A2) \\ \frac{\partial L}{\partial \psi_i^*} \\ = p_i^* \gamma_{i+1} - \sum_{j=i+1}^M p_j^* \gamma_{i+1} - 1 - \theta \geq 0; \quad (A3) \\ \frac{\partial L}{\partial \zeta_i^*} = p_i^* > 0 \quad (A4) \end{array} \right. \quad (13)$$

ضرایب توان متناسب با شرایط کانال کاربران، عملکرد مطلوبی نسبت به سناریوی متداول و طرح متعامد نتیجه می‌دهد، در حالی که در سناریوی NOMA متداول، ضرایب اختصاصی توان به کاربران ثابت بوده، براساس مرتبه SIC کاربران صورت می‌گیرد. عملکرد مطلوب طرح NOMA بهینه از لحاظ ظرفیت کلی در SNR های پایین، بیشتر است. اختلاف عملکرد دو سناریو با افزایش SNR کاهش می‌یابد؛ چون با افزایش SNR، اثر سیستمی کاربران دور نیز افزایش می‌یابد که می‌تواند عملکرد سیستم را تحت تأثیر قرار دهد. طرح OMA به دلیل عدم استفاده از گروه بندی کاربران و اشتراک باند فرکانسی، بهره‌وری پایین خواهد داشت.

در شکل (۲) به مقایسه ظرفیت کلی ارگودیک طرح‌های متعامد و غیرمتعامد پرداخته‌ایم. برای هر سه طرح، سه کاربر نزدیک، میانی و دور در نظر گرفته شده‌اند. طرح متعامد به دلیل عدم استفاده از برهم‌نهی، بدترین عملکرد و طرح بهینه NOMA به دلیل بهره بردن از ضرایب توان مناسب، بهترین عملکرد را فراهم می‌کنند. ظرفیت کلی ارگودیک هر سه طرح با افزایش SNR بهبود می‌یابد. شکل (۱) و (۲) نشان می‌دهند که طرح NOMA پیشنهادی سبز تحت پیاده‌سازی مسئله بهینه‌سازی، علاوه بر بهبود بهره‌وری سیستم، ضرایب اختصاصی توان به کاربران را متناسب با شرایط کانال آن‌ها متناسب می‌کند. طرح OMA به دلیل فراهم نیاروند بستری برای به اشتراک گذاری باند فرکانسی بین کاربران مختلف و همچنین عدم استفاده از شکاف توانی بین کاربران، بهره‌وری لازم را نخواهد داشت.

برای بررسی بهتر عملکرد سناریوهای مختلف، در شکل (۳) احتمال قطعی برای این سناریوها کشیده شده‌اند. احتمال قطعی همه کاربران با افزایش SNR بهبود می‌یابد. با این حال، سناریوی NOMA پیشنهادی، احتمال قطعی بدتری نسبت به NOMA متداول برای تمام کاربران نزدیک، میانی و دور فراهم می‌کند. دلیل این افت عملکرد از نظر احتمال قطعی، پیاده‌سازی مسئله بهینه‌سازی تحت حداکثرسازی ظرفیت کلی است. در این شرایط بهینگی برای دستیابی به ظرفیت بالا، به کاربران با شرایط کانال بهتر، توان بیشتری اختصاص می‌یابد و این باعث کاهش اختلاف توانی بین کاربران در یک باند فرکانسی مشترک می‌شود و می‌تواند احتمال قطعی را بدتر کند.

$$\left\{ \begin{aligned} p_1^* + p_2^* + p_3^* &= P \\ p_1^* &= \frac{2^{\frac{2R_1}{B}} - 1}{\min\left(\frac{\gamma_1}{p_3^* \gamma_1 + 1}, \frac{\gamma_3}{p_3^* \gamma_3 + 1}\right)} \\ p_2^* &= \frac{2^{\frac{2R_2}{B}} - 1}{\min\left(\frac{\gamma_2}{p_3^* \gamma_2 + 1}, \frac{\gamma_3}{p_3^* \gamma_3 + 1}\right)} \\ \Rightarrow p_3^* &+ \frac{2^{\frac{2R_1}{B}} - 1}{\min\left(\frac{\gamma_1}{p_3^* \gamma_1 + 1}, \frac{\gamma_3}{p_3^* \gamma_3 + 1}\right)} \\ &+ \frac{2^{\frac{2R_2}{B}} - 1}{\min\left(\frac{\gamma_2}{p_3^* \gamma_2 + 1}, \frac{\gamma_3}{p_3^* \gamma_3 + 1}\right)} = P \end{aligned} \right. \quad (15)$$

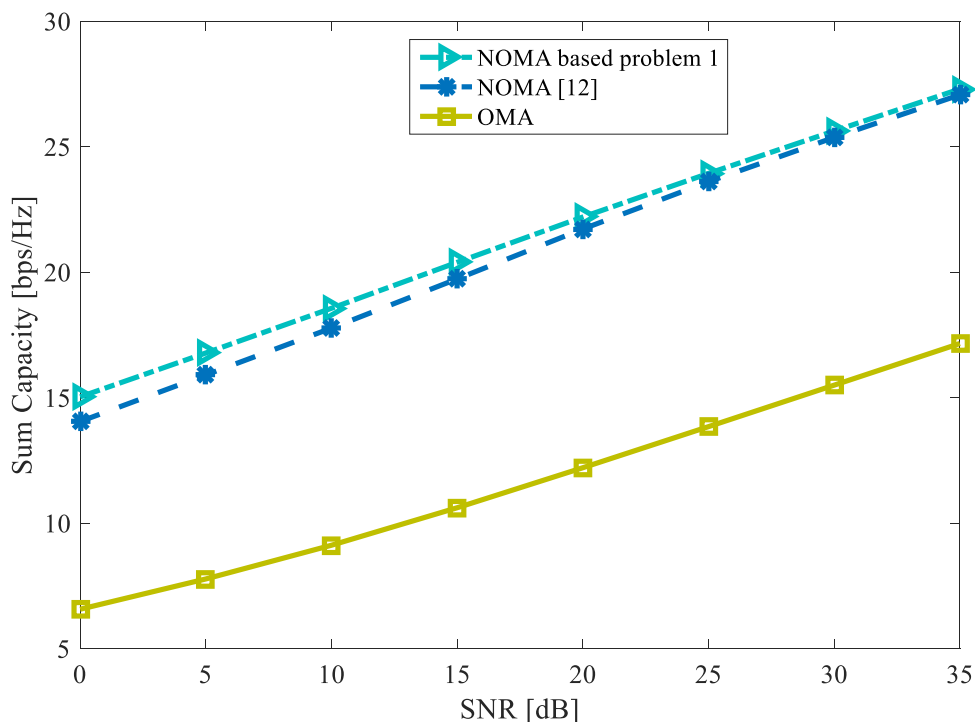
نهایتاً با به دست آوردن p_3^* دیگر توان‌های بهینه را نیز در فرم بسته خواهیم داشت.

۴- نتایج عددی

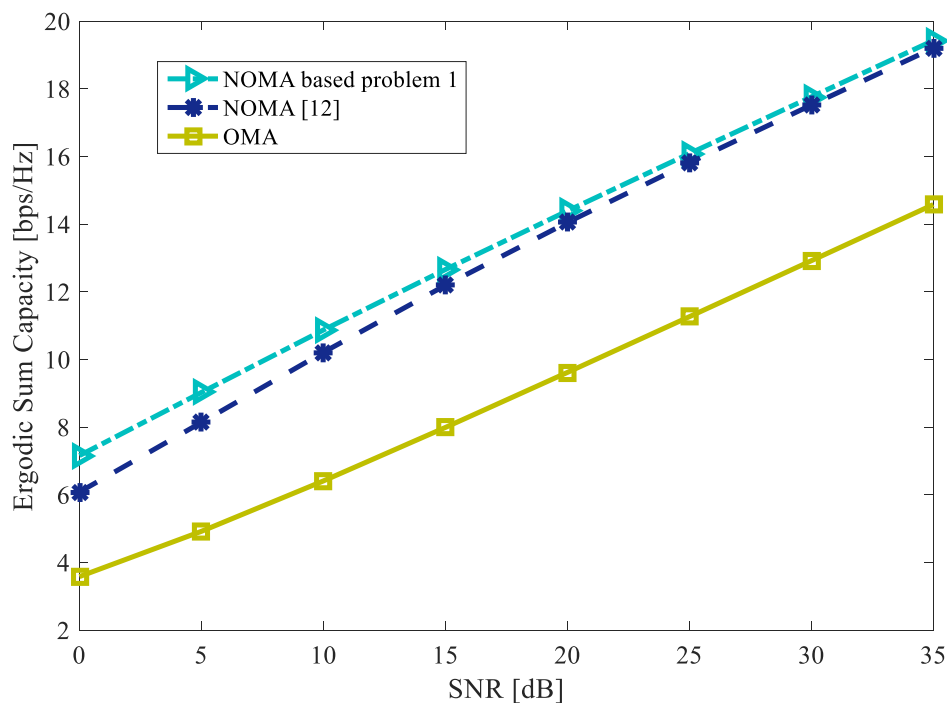
در این بخش به مقایسه عملکرد تکنیک‌های دسترسی چندگانه متعامد و غیرمتعامد پیشنهادی سبز در شبکه سلولی از طریق شبیه‌سازی عددی می‌پردازیم. همچنین نتایج حاصل از تکنیک NOMA با ضرایب بهینه توان را بیان می‌کنیم. عملکرد سناریوهای مختلف را از لحاظ ظرفیت کلی سیستم، ظرفیت کلی ارگودیک و احتمال قطعی، مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. فرض می‌کنیم فاصله کاربران نزدیک، میانی و دور از ایستگاه پایه به ترتیب ۰٫۲، ۰٫۶ و ۱ است. توان تلفی مسیر $v=4$ ، پهنای باند کلی سیستم $B=1$ هرتز، توان کلی $P=1$ وات و حداقل اختلاف بین توان سیگنال آشکار شده و توان سیگنالی تداخلی به اضافه نویز $\theta=10$ dBm و همچنین حداقل نرخ مورد نیاز کاربران نزدیک، میانی و دور به ترتیب ۴، ۲ و ۱ در واحد بیت بر ثانیه بر هر تزد در نظر گرفته شده است. شکل ۱ ظرفیت کلی سیستم‌های OMA، NOMA و NOMA بهینه را نسبت به SNR نشان می‌دهد که در آن، SNR از ۰ تا ۳۵ دسی‌بل متغیر است. سناریوهای در نظر گرفته شده شامل گروه‌های سه کاربری با کاربران نزدیک، میانی و دور در هر گروه هستند. از شکل (۱) معلوم است که ظرفیت کلی سناریوهای مختلف با افزایش SNR افزایش می‌یابد. همچنین سناریوی NOMA پیشنهادی، با اختصاص بهینه

فرکانسی، احتمال قطعی بهتری نسبت به روش دسترسی چندگانه متعامد تجربه می‌کنند.

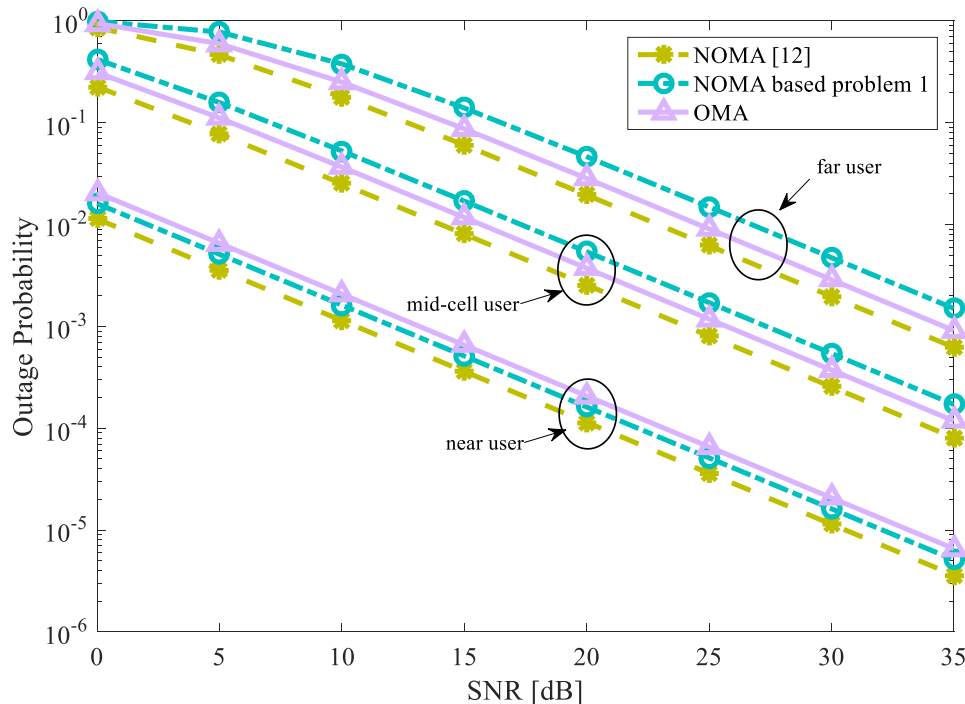
همچنین از شکل (۳) می‌توان فهمید کاربران در روش دسترسی چندگانه غیرمتعامد به دلیل به اشتراک گذاری باند



شکل ۱- مقایسه ظرفیت کلی طرح‌های دسترسی چندگانه غیرمتعامد و متعامد



شکل ۲- مقایسه سناریوهای مختلف دسترسی چندگانه از لحاظ ظرفیت کلی ارگودیک



شکل ۳- مقایسه احتمال قطعی بین سناریوهای NOMA بهینه، NOMA متداول و طرح متعامد، با فرض نرخ هدف کاربران برابر با ۰,۴ در واحد بیت بر ثانیه بر هر ترز

۵- نتیجه گیری

سیستم تحت قیدهایی شامل مصرف توان معین، حداقل نرخ مورد نیاز کاربران و محدودیت عملکردی SIC در گیرنده را پیشنهاد می‌کنیم. برای حل مسئله بهینه‌سازی با اثبات محدب/مقعر بودن مسئله، به دنبال یافتن ضرایب بهینه توان با استفاده از شرایط KKT می‌پردازیم. طبق این ویژگی‌ها، سناریوی پیشنهادی با اختصاص توان مناسب به کاربران مطابق با شرایط کانال آن‌ها می‌تواند مصرف توان را بهبود بخشد و عملکرد مطلوب سیستم مخابراتی را بهبود بخشد. با این حال، گسترش مسئله بهینه‌سازی به سناریوی چندکاربری-چندان‌تنی و بهینه‌سازی شکل‌دهی پرتوی ارسالی می‌تواند چالش برانگیز باشد.

بحران انرژی و آثار زیست‌محیطی انتشار کربن، ضرورت استفاده بهینه از منابع توانی و فرکانسی جهت بالا بردن بهره‌وری طیفی را تحت مفهوم مخابرات سبز آشکار می‌کند. اختصاص بهینه توان و گروه‌بندی کارآمد کاربران بدون تداخل، دو ویژگی کلیدی شبکه‌های NOMA برای داشتن عملکرد مطلوب و برآورده کردن حداقل کیفیت سرویس کاربران سلولی است. سناریوی NOMA مورد نظر در این مقاله، با اختصاص مناسب منابع طیفی و توانی بین کاربران، نیاز به توان و باند فرکانسی بیشتر را کاهش داده، طرح NOMA سبز را به نمایش می‌گذارد.

با هدف دستیابی به بهره طیفی بالا و نیز داشتن ارتباط کارآمد در شبکه سلولی، مسئله حداکثرسازی گذردهی کلی

مراجع

- [1] M. Aldababsa, M. Toka, S. Gökçeli, G. K. Kurt and O. Kucur, "A Tutorial on Non-orthogonal Multiple Access for 5G and Beyond", *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018, <https://doi.org/10.1155/2018/9713450>
- [2] A. Srivastava, M.S. Gupta and G. Kaur, "Energy efficient transmission trends towards future green cognitive radio networks (5G): Progress, taxonomy and open challenges", *Journal of Network and Computer Applications*, 2020.
- [3] V. Basnayake and et al., "A new green prospective of non-orthogonal multiple access (NOMA) for 5G", *Information*, Vol. 11, No. 2, 2020.

- [4] Y. Liu, G. Pan, H. Zhang and M. Song, "On the Capacity Comparison Between MIMO-NOMA and MIMO-OMA", *IEEE Access*, Vol. 4, No. 5, 2016, pp. 2123-2129.
- [5] S.R. Islam, N. Avazov, Q.A. Dobre and K.-S. Kwak, "Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 19, No. 2, 2017, pp. 721-742.
- [6] K. Lu, Z. Wu and X. Shao, "A Survey of Non-Orthogonal Multiple Access for 5G", 2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Toronto, ON, 2017, pp. 1-5.
- [7] Z. Ding, F. Adachi and H.V. Poor, "The application of MIMO to non-orthogonal multiple access", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 15, No. 1, 2016, pp. 537-552.
- [8] A. Fehske, G. Fettweis, J. Malmudin and G. Biczok, "The global footprint of mobile communications: The ecological and economic perspective", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 49, 2011, pp. 55-62.
- [9] J.G. Andrews et al., "What Will 5G Be?", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 32, No. 6, 2014, pp. 1065-1082.
- [10] F.T. Miandoab and B. M. Tazehkand, "A user pairing method to improve the channel capacity for multiuser MIMO channels in downlink mode based on NOMA", *Computer Communications*, Vol. 146, 2019, pp. 15-21.
- [11] T. Lv, Y. Ma, J. Zeng and P.T. Mathiopoulos, "Millimeter-Wave NOMA Transmission in Cellular M2M Communications for Internet of Things", *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 5, No. 3, 2018, pp. 1989-2000.
- [12] F. Tabee Miandoab and B.M. Tazehkand, "NOMA performance enhancement-based imperfect SIC minimization using a novel user pairing scenario involving three users in each pair", *Wireless Networks*, Vol. 26, 2020, pp. 3735-3748.
- [13] F. Fang, H. Zhang, J. Cheng and V.C.M. Leung, "Energy efficiency of resource scheduling for non-orthogonal multiple access (NOMA) wireless network", 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC), Kuala Lumpur, 2016, pp. 1-5.
- [14] L. Lei, D. Yuan and P. Värbrand, "On Power Minimization for Non-orthogonal Multiple Access (NOMA)", in *IEEE Communications Letters*, Vol. 20, No. 12, 2016, pp. 2458-2461.
- [15] Md. F. Uddin, "Energy efficiency maximization by joint transmission scheduling and resource allocation in downlink NOMA cellular networks", *Computer Networks*, Vol. 159, 2019, pp. 37-50.
- [16] Y. Zhang and et al., "Energy-efficient transmission design in non-orthogonal multiple access", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 66, No. 3, 2017, pp. 2852-2857.
- [17] H. Zhang, B. Wang, C. Jiang, K. Long, A. Nallanathan, V.C. M. Leung and H.V. Poor, "Energy efficient dynamic resource optimization in NOMA system", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 17, No. 9, 2018, pp. 5671-5682.
- [18] M. Zeng, A. Yadav, O.A. Dobre and H.V. Poor, "Energy-efficient power allocation for MIMO-NOMA with multiple users in a cluster", *IEEE Access*, Vol. 6, 2018, pp. 5170-5181.
- [19] P. Jain and A. Gupta, "Adaptive NOMA towards 5G green wireless network", *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, Vol. 31, 2020.
- [20] Y. Zhang and et al., "Energy-Efficient Transmission Design in Non-Orthogonal Multiple Access", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 66, 2017, p. 2852-2857.
- [21] R. Khan and et al., "A Machine Learning Based Energy-Efficient Non-Orthogonal Multiple Access Scheme", in *In Proceedings of the International Forum on Strategic Technology*, Tomsk, Russia, October 2019.
- [22] R. Ruby and et al., "Enhanced energy-efficient downlink resource allocation in green non-orthogonal multiple access systems", *Computer Communications*, Vol. 139, 2019, pp. 78-90.
- [23] L. Lei, D. Yuan and P. Värbrand, "On power minimization for non-orthogonal multiple access (NOMA)", *IEEE Communications Letters*, Vol. 20, No. 12, 2016, pp. 2458-2461.

[۲۴] علی ابراهیمی، احمد حاجی‌پور و حمیدرضا توکلی، «موقعیت‌یابی در اینترنت اشیا با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مرتبه کسری آشوبی»، *مجله مدل‌سازی در مهندسی*، دور «۱۸»، شماره ۶۰، ۱۳۹۹، صفحه ۱۵۷-۱۶۸.

[۲۵] محمد علیزاده، میثم جعفری نوکندی و یامین سلطان مرادی، «مدل‌سازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در خانه هوشمند با حضور ذخیره‌ساز انرژی، سلول خورشیدی، خودروی برقی و پاسخ‌گویی بار»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۷، شماره ۵۷، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۲۱۵-۲۲۶.

[۲۶] محمدرضا انصاری و ایمان همت، «بهینه‌سازی و کنترل خودروهای هیبریدی با در نظر گرفتن جرایم مربوط به آلاینده‌گی و براساس الگوریتم PSO»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۷، شماره ۵۷، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۲۲۷-۲۳۹.

[27] M.F. Hanif, Z. Ding, T. Ratnarajah and G.K. Karagiannidis, "A Minorization-Maximization Method for Optimizing Sum Rate in the Downlink of Non-Orthogonal Multiple Access Systems", in IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 64, No. 1, 2015, pp. 76-88.

[28] Z. Chen, Z. Ding, X. Dai and R. Zhang, "An Optimization Perspective of the Superiority of NOMA Compared to Conventional OMA", in IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 65, No. 19, 2017, pp. 5191-5202.

[29] I. Abu Mahady, E. Bedeer, S. Ikki and H. Yanikomeroglu, "Sum-Rate Maximization of NOMA Systems Under Imperfect Successive Interference Cancellation", in IEEE Communications Letters, Vol. 23, No. 3, 2019, pp. 474-477.

[30] J. Kang and I. Kim, "Optimal User Grouping for Downlink NOMA", in IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 7, No. 5, 2018, pp. 724-727.

[31] J. Cui, Z. Ding and P. Fan, "A Novel Power Allocation Scheme Under Outage Constraints in NOMA Systems", in IEEE Signal Processing Letters, Vol. 23, No. 9, 2016, pp. 1226-1230.

[32] M.S. Ali, H. Tabassum and E. Hossain, "Dynamic User Clustering and Power Allocation for Uplink and Downlink Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) Systems", IEEE Access, Vol. 4, 2016 pp. 6325-6343.

[33] M. S. Ali, E. Hossain, A. Al-Dweik and D. I. Kim, "Downlink Power Allocation for CoMP-NOMA in Multi-Cell Networks," IEEE Transactions on Communications, Vol. 66, No. 9, 2018, pp. 3982-3998.

[34] S.P. Boyd and L. Vandenberghe, Convex optimization, Cambridge University Press, 2004.