

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات

تخصیص منابع در شبکه‌های نسل پنجم مبتنی بر تکنیک دسترسی چندگانه غیرمتعامد

نگارنده: اسماعیل بدیعی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا جوان

تیرماه ۹۷



مدیریت تحصیلات تکمیلی

باسمه تعالی

شماره ۱۵۸۱، ۰۳
تاریخ: ۲۸، ۸، ۹۷

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای اسماعیل بدیعی با شماره

دانشجویی ۹۴۰۳۴۹۴ رشته مهندسی برق- مخابرات گرایش سیستم تحت عنوان: تخصیص منابع در شبکه،

های نسل پنجم مبتنی بر تکنیک دسترسی چندگانه غیرمتعامد که در تاریخ ۱۳۹۷/۰۴/۲۸ با حضور هیأت

محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: <u>خیلی خوب</u>)	<input checked="" type="checkbox"/>	مردود	<input type="checkbox"/>
نوع تحقیق:	<input checked="" type="checkbox"/> نظری	<input type="checkbox"/> عملی	

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد	مهدی جوان	۱- استاد راهنمای اول
-	-	-	۲- استاد راهنمای دوم
-	-	-	۳- استاد مشاور
	استاد	امیر حسین	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استاد	امیر حسین	۵- استاد ممتحن اول
	استاد	مهدی جوان	۶- استاد ممتحن دوم



نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم

به پدر و مادر عزیزم و به تمام آزاد مردانی که نیک می‌اندیشند و عقل و منطق را پیشه خود نموده و جز رضای الهی و پیشرفت و سعادت جامعه، هدفی ندارند. دانشمندان، بزرگان، و جوانمردانی که جان و مال خود را در حفظ و اعتلای این مرز و بوم فدا نموده و می‌نمایند.

سپاس و قدردانی

از استاد گرامیم جناب آقای دکتر محمدرضا جوان بسیار سپاسگذارم چرا که بدون راهنمایی‌های ایشان تامین این پایان نامه بسیار مشکل می‌نمود.

تعهد نامه

اینجانب اسماعیل بدیعی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق مخابرات گرایش سیستم دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "تخصیص منابع در شبکه‌های نسل پنجم مبتنی بر تکنیک دسترسی چندگانه غیر متعامد" تحت راهنمایی جناب آقای دکتر محمدرضا جوان متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

چکیده

افزایش کارابران شبکه‌های بیسیم و در نتیجه افزایش ترافیک شبکه و تقاضا برای سرویس دهی با کیفیت بالا باعث شده‌اند که نسل چهارم توانایی پاسخگویی به این نیازها را نداشته باشد. بنابراین ناگزیر به دنبال راه‌هایی برای برآورده کردن این نیازها می‌باشیم. یکی از روش‌هایی که اخیراً بسیار مورد توجه قرار گرفته است و به عنوان یک کاندید، برای سیستم‌های نسل پنجم معرفی شده، تکنیک دسترسی چندگانه غیرمتعامد می‌باشد که در آن برخلاف تکنیک‌های دسترسی چندگانه متعامد، بیش از یک کاربر می‌توانند از منابع در دسترس استفاده کنند، که در نتیجه افزایش کارایی طیفی و بهره‌وری انرژی شبکه را به دنبال دارد. در این تحقیق هدف ما بررسی بهره‌وری انرژی یک سیستم چند سلولی مبتنی بر تکنیک دسترسی چندگانه غیرمتعامد می‌باشد. به این منظور ابتدا مساله بهره‌وری انرژی را برای یک سیستم مدل ساده در نظر می‌گیریم سپس آن را برای حالت‌های تک سلول و چند سلولی، توسعه می‌دهیم. تخصیص منابع در این سیستم‌ها یک مساله غیر محدب است که به سادگی با ابزارهای موجود قابل حل نیست. لذا با استفاده از روش‌های تقریب، مساله بهینه سازی غیرمحدب را به یک مساله محدب و قابل حل تبدیل می‌کنیم. و در نهایت با انجام شبیه‌سازی، مقایسه‌ای بین تکنیک دسترسی متعامد و غیرمتعامد صورت می‌گیرد. با توجه به شبیه سازی‌های انجام شده نتیجه گرفته شده است که استفاده از روش‌های دسترسی غیرمتعامد بازدهی شبکه‌های سلولی را نسبت به روش دسترسی متعامد با هزینه افزایش پیچیدگی در ساختار فرستنده و گیرنده به طور قابل توجهی، افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: دسترسی چندگانه غیرمتعامد، چند سلولی، نسل پنجم

فهرست عناوین

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۱-۱-۱	مقدمه..... ۲
۱-۲-۱	مروری بر کارهای گذشته..... ۴
۱-۳-۱	اهداف پایان نامه..... ۶
۱-۴-۱	ساختار پایان نامه..... ۶
	فصل دوم: مروری بر مفاهیم
۱-۲-۱	بهره‌وری انرژی..... ۱۰
۱-۲-۲	برداشت انرژی در شبکه‌های بی‌سیم..... ۱۱
۱-۳-۲	سیستم‌های مبتنی بر تکنیک دسترسی چندگانه غیر متعامد NOMA..... ۱۳
۱-۳-۲-۱	مقایسه تکنیک OMA و NOMA..... ۱۵
۱-۴-۲	رله‌های تعاونی در شبکه‌های بی‌سیم..... ۱۸
۱-۵-۲	تخصیص منابع و بهینه‌سازی..... ۱۸
۱-۶-۲	بهینه‌سازی محدب..... ۲۰
۱-۶-۲-۱	شرایط مرتبه اول برای محدب بودن یک تابع..... ۲۲

۲-۶-۲- شرایط مرتبه دوم برای محدب بودن یک تابع..... ۲۲

۷-۲- روش‌های تقریب..... ۲۳

۱-۷-۲- برنامه‌ریزی کسری غیرخطی..... ۲۳

۲-۷-۲- روش‌های SCA..... ۲۴

فصل سوم: مدل سیستم و حل مساله

۱-۳- مقدمه..... ۲۶

۲-۳- سیستم تک سلولی متشکل از دو کاربر و یک رله..... ۲۶

۱-۲-۳- برداشت انرژی در سیستم تک سلولی متشکل از دو کاربر و یک رله..... ۲۸

۲-۲-۳- مساله بهینه‌سازی در سیستم تک سلولی متشکل از دو کاربر و یک رله..... ۲۹

۳-۳- سیستم تک سلولی..... ۳۰

۱-۳-۳- برداشت انرژی در سیستم تک سلولی..... ۳۳

۲-۳-۳- مساله بهینه‌سازی در سیستم تک سلولی..... ۳۳

۴-۳- مساله تخصیص منابع در یک سیستم چند سلولی..... ۳۴

۱-۴-۳- برداشت انرژی در یک سیستم چند سلولی..... ۳۸

۲-۴-۳- مساله بهینه‌سازی در یک سیستم چند سلولی..... ۳۹

۵-۳- حل مساله..... ۴۰

- ۴۱-۳-۵-۱- انتقال تابع هدف از فرم کسری به فرم تفاضلی.....
- ۴۲-۳-۵-۲- حل مساله تخصیص توان و تخصیص زیرحامل.....
- ۴۳-۳-۵-۳- حل مساله تک سلولی.....
- ۴۳-۳-۵-۱- حل مساله تخصیص زیرحامل.....
- ۴۴-۳-۵-۲- حل مساله تخصیص توان.....
- ۴۶-۳-۵-۴- حل مساله چند سلولی.....
- ۴۷-۳-۵-۴-۱- حل مساله تخصیص توان.....
- ۴۹-۳-۵-۴-۲- حل مساله تخصیص زیرحامل.....
- ۵۲-۳-۵-۴-۳- حل مساله تخصیص ضریب برداشت انرژی.....

فصل چهارم: نتایج شبیه‌سازی

- ۵۶..... شبیه‌سازی

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۶۶-۵-۱- نتیجه‌گیری.....

- ۶۷-۶-۲- پیشنهادها.....

- ۶۹..... منابع

فهرست اشکال

شکل	صفحه
شکل (۱-۲) مدارهای برداشت انرژی.....	۱۱
شکل (۲-۲) مقایسه تکنیک OFDMA و NOMA [26].....	۱۵
شکل (۳-۲) توابع محدب و غیر محدب [29].....	۲۱
شکل (۴-۲) شرایط مرتبه اول محدب بودن یک تابع [29].....	۲۱
شکل (۱-۳) سیستم تک سلولی.....	۳۰
شکل (۱-۴) بهره‌وری انرژی به ازای مقادیر متفاوت d	۵۷
شکل (۲-۴) سیستم مدل تک سلولی.....	۵۸
شکل (۳-۴) مقایسه دو حالت OFDMA و OFDMA-NOMA بر حسب ماکزیمم توان مصرفی.....	۵۹
شکل (۴-۴) مقایسه نرخ دریافتی OFDMA و OFDMA-NOMA بر حسب ماکزیمم توان مصرفی.....	۶۰
شکل (۵-۴) مقایسه دو حالت OFDMA و OFDMA-NOMA بر حسب مینیمم نرخ دریافتی.....	۶۱
شکل (۶-۴) سیستم مدل چند سلولی.....	۶۲
شکل (۷-۴) بهره‌وری انرژی بر اساس تغییرات R^{rsv}	۶۳
شکل (۸-۴) بهره‌وری انرژی بر اساس تغییرات زیر حامل.....	۶۴

فصل اول

مقدمه

با افزایش کاربران در شبکه‌های مخابرات بی‌سیم و افزایش تقاضا برای سرویس‌دهی با حجم بالای داده، چالش‌هایی از قبیل نیاز به طیف فرکانسی بیشتر و افزایش انرژی مصرفی پدیدار شده‌اند. با رشد سریع اینترنت تلفن همراه تا سال ۲۰۲۰ افزایش هزار برابری ترافیک داده پیش‌بینی شده است [۱]. علاوه بر این با توجه به توسعه سریع اینترنت اشیاء، نسل جدید باید به گونه‌ای باشد که اتصال عظیمی از کاربران و دستگاه‌ها را پشتیبانی کند. بنابراین در آینده باید به دنبال راهکارهایی جهت بهبود بهره‌وری طیفی و بهره‌وری انرژی باشیم. طراحی یک روش دسترسی چندگانه مناسب یکی از مهمترین روش‌ها در بهبود ظرفیت سیستم می‌باشد. تکنیک‌های دسترسی چندگانه به طور گسترده در دو دسته طبقه بندی می‌شوند: دسترسی چندگانه متعامد^۱ OMA و دسترسی چندگانه غیر متعامد^۲ NOMA [۲]. یک طرح متعامد با یک گیرنده مناسب، سیگنال ناخواسته را به طور کامل از سیگنال مطلوب توسط توابع پایه جدا می‌کند. یکی از روش‌های متعامدسازی، روش مدولاسیون عمود برهم^۳ OFDMA است که در آن از فرکانس‌های حامل عمود بر هم برای ارسال اطلاعات استفاده می‌شود به طوری که هر فرکانس به یک کاربر اختصاص داده می‌شود. در مقابل OMA، تکنیک NOMA این اجازه را می‌دهد که بتوان روی یک کانال فرکانسی چندین کاربر در یک زمان و در یک سلول، داده ارسال کنند [۳]. به این ترتیب بهره‌وری طیفی با استفاده از این تکنیک بهبود می‌یابد، تنها عیب این تکنیک افزایش پیچیدگی در ساختار گیرنده و فرستنده نسبت به تکنیک‌های استفاده شده در نسل‌های قبلی می‌باشد. از آنجایی که تداخل ناشی از NOMA باعث افزایش این پیچیدگی در گیرنده و فرستنده می‌شود، بهتر است تکنیک

¹ Orthogonal Multiple Access

² Non-Orthogonal Multiple Access

³ Orthogonal Frequency Division Multiple Access

NOMA را به همراه یک تکنیک رایج OMA مانند OFDMA یا TDMA استفاده کنیم. به این ترتیب با محدود کردن تعداد کاربرانی که NOMA می‌شوند می‌توانیم پیچیدگی در ساختار گیرنده و فرستنده را کاهش دهیم [۴].

تکنیک NOMA، با توجه به نحوه ارسال چند کاربر روی یک زیرحامل و نوع آشکارسازی که در گیرنده استفاده می‌شود به دو دسته تقسیم می‌شود:

۱. تکنیک ^۱PD-NOMA: اگر تفاوت کاربرهایی که روی یک زیرحامل اطلاعات ارسال می‌کنند در سطح توان آن‌ها باشد (در فرستنده جهت ارسال پیام از تکنیک ^۲SC استفاده شود) و در گیرنده برای آشکارسازی اطلاعات، از تکنیک ^۳SIC استفاده شود تکنیک دسترسی PD-NOMA به دست می‌آید. که در این تحقیق از این تکنیک استفاده شده است.

۲. تکنیک ^۴SCMA: اگر تفاوت کاربرهایی که روی یک زیرحامل اطلاعات ارسال می‌کنند در نوع کدبک آن‌ها باشد و در گیرنده از تکنیک ^۵MPA برای آشکار سازی اطلاعات استفاده شود تکنیک دسترسی SCMA بدست می‌آید [۵].

یکی از بهترین راه‌ها برای افزایش انتقال داده در یک شبکه بی‌سیم افزایش تعداد سلول‌های یک ناحیه می‌باشد، در این شبکه‌ها که اصطلاحاً به آنها شبکه‌های چند سلولی ^۶ گفته می‌شود با استفاده مجدد از فرکانس می‌توانیم از طیفی که در اختیار داریم حداکثر استفاده را ببریم [۶]. از جمله مشکلاتی که در این سیستم‌ها وجود دارد می‌توان به سرویس‌دهی کاربران لبه سلول اشاره کرد، که اخیراً استفاده از

¹ Power Domain- NOMA

² Superposition Coding

³ Successive Interference Cancellation

^۴ Sparse Code Multiple Access

⁵ Message Passing Algorithm

⁶ Multi-cell

تکنیک‌های مخابرات مشارکتی در شبکه‌های بی‌سیم برای سیستم‌های سلولی بطور گسترده مورد توجه قرار گرفته است. ایده‌ی اصلی شکل‌گیری مخابرات مشارکتی، سیستم‌های نقطه به نقطه برای برقراری ارتباط با معیارهای مطلوب است. در مخابرات مشارکتی مسیرهای مستقلی بین فرستنده و گیرنده توسط گره‌های میانی موسوم به رله ایجا می‌شود، چالشی که در رله‌ها وجود دارد این است که با توجه به متحرک بودن کاربرها ممکن است رله‌ها در مکان‌هایی قرار بگیرند که دسترسی به آن‌ها سخت باشد یا امکان پذیر نباشد، از طرفی طول عمر محدود باتری و نیاز آن‌ها به شارژ، استفاده از رله را در این مکان‌ها محدود می‌کند. در سال‌های اخیر سیستم‌های برداشت‌کننده انرژی از محیط یک پدیده جدید برای حل مشکل توان مصرفی گره‌های شبکه مطرح شده است، استفاده از این سیستم‌ها باعث می‌شود که گره‌های شبکه به‌طور پیوسته، مقدار انرژی کافی جهت انتقال خود در اختیار داشته باشند که این تکنیک منجر به افزایش طول عمر شبکه نیز می‌شود، و همچنین این قابلیت را فراهم می‌کند که در نواحی که دسترسی به رله سخت می‌باشد بتوان از آن‌ها استفاده کرد.

۱-۲- مروری بر کارهای گذشته

امروزه استفاده از تکنیک NOMA و^۱ SWIPT در سیستم‌های بی‌سیم مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است تکنیک NOMA به عنوان یک کاندید برای سیستم‌های نسل پنجم معرفی شده است [۷]، در [۸] مزیت استفاده از تکنیک NOMA و SWIPT در یک سیستم تک سلولی که در آن از کاربران نزدیک به ایستگاه پایه به عنوان رله با قابلیت برداشت انرژی از سیگنال دریافتی برای انتقال اطلاعات به کاربران لبه سلول استفاده شده، مورد بررسی قرار گرفته است. در [۹] مصالحه‌ای بین مقادیر بهره‌وری انرژی، انصاف^۲، برداشت انرژی و مجموع نرخ سیستم با در نظر گرفتن روش‌های متفاوت

¹ Simultaneous Wireless Information and Power Transfer

² Fairness

انصاف در یک سیستم ناهم‌گون مبتنی بر تکنیک NOMA، مورد بحث قرار گرفته است. برای یک سیستم تک سلولی تخصیص منابع با استفاده از تئوری بازی در [۱۰] مورد مطالعه قرار گرفته است. در [۱۱] یک سیستم تک سلولی شامل یک ایستگاه پایه مبتنی بر تکنیک NOMA و دو کاربر و چندین رله در نظر گرفته و یک استراتژی دو مرحله‌ای برای انتخاب رله ارائه کرده و احتمال قطع را برای این سیستم مورد بررسی قرار داده است. در [۱۲] یک شبکه‌ی مشارکتی مبتنی بر تکنیک NOMA، شامل یک رله برداشت‌کننده انرژی در نظر گرفته و دو روش برای تخصیص ضریب توان ارائه و سپس با یکدیگر مقایسه کرده است. در مرجع [۱۳] یک ارتباط دستگاه به دستگاه در یک سیستم که شامل یک ایستگاه پایه و دو کاربر است بیان شده که در آن ایستگاه پایه پیام خود را به صورت NOMA به دو کاربر خود ارسال می‌کند، در این سیستم از کاربری که شرایط بهتری دارد به عنوان یک رله دو طرفه^۱ برای ارسال پیام کاربر با شرایط بدتر استفاده شده است. در [۱۴] تکنیک NOMA را در یک شبکه‌ی ناهم‌گون بررسی کرده و از سه روش برای تقریب زدن مساله غیرمحدب به یک مساله محدب استفاده می‌کند در آخر این سه روش را از نظر پیچیدگی و جواب بهینه با یکدیگر مقایسه کرده است. در مرجع [۱۵] یک سیستم مشارکتی شامل یک فرستنده، یک رله و دو گیرنده در نظر گرفته شده است که در آن رله مجهز به یک بافر اطلاعات است و احتمال قطع را برای هر دو حالت، وقتی که اطلاعات کانال^۲ در رله مشخص است و حالتی که اطلاعات حالت کانال نامشخص است را بررسی می‌کند. در [۱۶] یک شبکه ناهم‌گون را برای حالتی که اطلاعات حالت کانال مشخص است و حالتی که نامشخص است مورد بررسی قرار داده و با حالت OFDMA مقایسه کرده و در آخر نتیجه گرفته که با یک تخصیص منابع مناسب در هر دو حالت نسبت به حالت OFDMA بهره‌وری طیفی افزایش می‌یابد. در [۱۷] یک ایستگاه

¹ Full Duplex

² Channel State Information

پایه شامل تعدادی کاربر در نظر گرفته شده و یک الگوریتم برای تخصیص توان و زیرحامل با استفاده از تئوری بازی ارائه کرده است. در [۱] دو نوع تکنیک دسترسی چندگانه غیرمتعامد بسیار مهم، PD-NOMA و SCMA مورد بررسی قرار گرفته و از نقطه نظرهای مقدار پیچیدگی در گیرنده - فرستنده و مجموع نرخ ارسالی مقایسه شده‌اند.

۱-۳- اهداف پایان نامه

با توجه به توضیحات داده شده، هدف انجام این تحقیق بررسی کارایی یک سیستم چند سلولی می‌باشد که در آن از رله برای انتقال اطلاعات به کاربران لبه سلول استفاده شده است همچنین فرض شده رله قابلیت برداشت انرژی از سیگنال دریافتی را دارد و برای سادگی در ساختار فرستنده و گیرنده فرض کردیم که رله به صورت OFDMA-NOMA اطلاعات خود را ارسال می‌کند.

۱-۴- ساختار پایان نامه

در فصل دوم مروری بر مفاهیم مورد استفاده جهت توضیح مساله در شبکه همچون تکنیک PD-NOMA، روش‌های برداشت انرژی خواهیم پرداخت.

در فصل سوم به بیان مساله که هدف پیاده سازی یک سیستم چند سلولی می‌باشد، می‌پردازیم. بدین منظور از یک سیستم - مدل ساده شامل دو کاربر شروع می‌کنیم، سپس این سیستم - مدل را توسعه می‌دهیم و برای حالت‌های تک سلولی و چند سلولی مورد بررسی قرار می‌دهیم. هدف تخصیص زیرحامل و تخصیص توان به منظور بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی با توجه به محدودیت توان و طیف قابل دسترس می‌باشد. برای حل مساله‌ها، با وجود ضریب تخصیص زیرحامل، ضریب برداشت انرژی و غیرمحدب بودن توابع هدف (هزینه)، از روش‌ها و الگوریتم‌هایی برای ساده‌سازی و تقریب مساله غیرمحدب به یک مساله محدب استفاده خواهیم کرد.

در فصل چهارم نتایج به دست آمده از فصل سوم را با استفاده از نرم افزار متلب شبیه سازی کرده و مقایسه‌ای بین حالت‌های OFDMA و NOMA انجام شده است. و در انتها عملکرد یک سیستم چندسلولی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در نهایت در فصل پنجم، نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای کارهای آینده ارائه خواهد شد.

فصل دوم

مروری بر مفاهیم

۲-۱- بهره‌وری انرژی

افزایش ترافیک و دستگاه‌های تلفن همراه باعث افزایش انرژی مصرفی و در نتیجه تولید زیاد گاز CO₂ در محیط می‌شوند، بنابراین موضوع بهره‌وری انرژی تبدیل به یک مساله مهم در شبکه‌های بی‌سیم شده است [۱۸]. بهره‌وری انرژی به صورت نسبت نرخ ارسالی به توان مصرفی تعریف می‌شود و واحد اندازه‌گیری آن بیت بر ژول^۱ است. فرض کنید R تعداد بیت اطلاعات ارسالی در هر ثانیه باشد، مقدار انرژی ΔE که در زمان ΔT مصرف می‌شود برابر است با: $\Delta E = P\Delta T$ ، بنابراین بهره‌وری انرژی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$EE = \frac{R\Delta T}{\Delta E} = \frac{R}{P} \text{ bit / Joule} \quad (1-2)$$

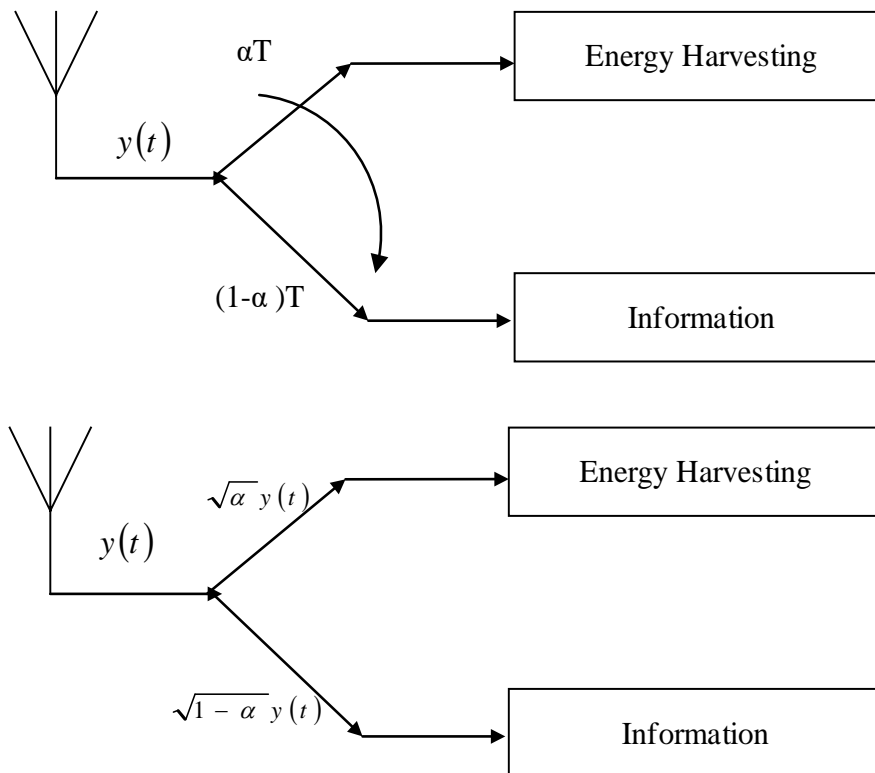
توان مصرفی شامل توان ارسالی و توان مصرفی مدارهای فرستنده می‌باشد که در رابطه (۱-۲) لحاظ نشده است. توان مصرفی مدار در طول انتقال شامل پردازش سیگنال و بلوک‌های فعال مدار از قبیل: مبدل آنالوگ به دیجیتال، مبدل دیجیتال به آنالوگ و میکسرها^۲ می‌باشد که با P_c نشان می‌دهیم [۱۹]. بنابراین بهره‌وری انرژی به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$EE = \frac{R}{P + P_c} \quad (2-2)$$

که در آن P_c توان مصرفی مدار فرستنده است و مستقل از توان ارسالی P می‌باشد.

¹ Joule

² Mixers



شکل (۱-۲) مدارهای برداشت انرژی

۲-۲- برداشت کننده انرژی در شبکه های بی سیم

عمر محدود باتری و نیاز داشتن به شارژ یک نکته کلیدی در طراحی شبکه های بی سیم می باشد. بهترین گزینه برای مقابله با این مشکلات ارائه تکنیک برداشت کننده انرژی می باشد. در این تکنیک فرستنده، توان مورد نیاز خود را برای انتقال اطلاعات از منابع اطراف تامین می کند [۲۰]. در سیستم هایی که مشکل باتری دارند و همچنین سیستم هایی که دسترسی به گره های شبکه سخت است و در یک محیط وسیع توزیع شده اند، استفاده از تکنیک برداشت انرژی بسیار مورد توجه قرار می گیرد. شبکه های بی سیم از منابع متفاوت انرژی مانند فتوولتاییک، مکانیکی، بادی و حرارتی می توانند استفاده کنند. مشکل اصلی برداشت انرژی از منابع تجدید پذیر، ماهیت تصادفی بودن آن در لحظه می باشد و وابسته به این که در

چه زمان و مکانی قرار داشته باشیم می تواند مقدار متفاوتی داشته باشد. غیرقابل پیش بینی بودن، باعث می شود که تخصیص توان در چنین سیستم هایی دشوار شود [۲۱]. اخیراً، انتقال انرژی از طریق سیگنال-های RF^۱ معرفی شده است، که در آن انتقال انرژی و انتقال اطلاعات هر دو به صورت همزمان (SWIPT) از طریق سیگنال RF امکان پذیر می باشد [۲۲]. بنابراین گره ها می توانند هم از روی سیگنال RF اطلاعات خود را کدگشایی کنند و هم این که انرژی برداشت کنند.

در [۲۳] طراحی یک گیرنده برای برداشت انرژی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مقاله فرض شده است استخراج اطلاعات و انرژی را می توان به صورت همزمان انجام داد اما در [۲۴] نشان داده شده است که این یک فرض غیرعملی می باشد و نمی توان از یک مدار به صورت همزمان برای برداشت انرژی و استخراج اطلاعات استفاده کرد. به این ترتیب دو ساختار، سوئیچینگ زمانی TS^۲ و تقسیم توان PS^۳ برای ساختار گیرنده معرفی شده است. در گیرنده TS همانطور که در شکل (۱-۲) مشاهده می کنید گیرنده بین برداشت انرژی و دریافت اطلاعات سوئیچ می کند، یعنی گیرنده از سیگنال RF دریافتی به اندازه مدت زمان αT انرژی برداشت می کند، و باقی مانده زمان $(1 - \alpha)T$ را برای دریافت اطلاعات استفاده می کند، که T مدت زمانی است که طول می کشد اطلاعات از فرستنده به گیرنده ارسال شوند. در گیرنده نوع PS که در شکل (۱-۲) آمده است، توان سیگنال دریافتی به دو قسمت تقسیم می شود، گیرنده مقدار $\sqrt{\alpha}$ از سیگنال دریافتی را برای برداشت انرژی و باقی مانده $\sqrt{1-\alpha}$ از سیگنال را برای کدگشایی اطلاعات استفاده می کند [۲۵].

¹ Radio Frequency

² Time Switching

³ Power Splitting

۳-۲- سیستم‌های مبتنی بر تکنیک دسترسی چند گانه غیرمتعامد NOMA

با توجه به رشد چشم‌گیر ترافیک دیتای تلفن همراه، به دنبال فن‌آوری‌هایی برای بهبود کارایی طیفی و بهبود کیفیت سرویس‌دهی به کاربران هستیم، تکنیک‌های دسترسی چند گانه غیرمتعامد به عنوان تکنولوژی جدیدی برای رسیدن به این اهداف ارائه شده‌اند. مزیت این روش نسبت به روش‌های متعامد استفاده شده در سیستم‌های نسل چهارم بهبود کارایی طیفی و افزایش کیفیت سرویس‌دهی می‌باشد. در ادامه با ارائه یک مثال، چگونگی استفاده از SIC و SC را در NOMA توضیح خواهیم داد و سپس به مقایسه بین تکنیک OFDMA و NOMA خواهیم پرداخت.

فرض کردیم که یک ایستگاه پایه (BS^1) از تکنیک PD-NOMA برای انتقال اطلاعات خودی به دو کاربر استفاده می‌کند و کاربر اول نسبت به کاربر دوم به BS نزدیک‌تر و دارای بهره کانال بیشتری می‌باشد. بهره کانال از ایستگاه پایه به دو کاربر را به ترتیب با h_1 و h_2 نشان می‌دهیم. سیگنالی که فرستنده با استفاده از SC در محیط پخش می‌کند برابر است با:

$$x = \sqrt{p_1}x_1 + \sqrt{p_2}x_2 \quad (۳-۲)$$

از طرفی سیگنالی که کاربر k دریافت می‌کند به صورت زیر بیان می‌شود:

$$y_k = h_k(\sqrt{p_1}x_1 + \sqrt{p_2}x_2) + w_k \quad k = 1, 2 \quad (۴-۲)$$

که در آن w_k نویز سفید گوسی با میانگین صفر و واریانس σ_k^2 می‌باشد. در اینجا فرض کردیم $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$.

¹ Base Station

ایده‌ی SIC این است که کاربر با شرایط کانال بهتر می‌تواند پیام کاربر با شرایط کانال بدتر را کدگشایی کند، برای این سیستم^۱ SNR در دو کاربر به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\gamma_{2 \rightarrow 2} = \frac{|h_2|^2 p_2}{\sigma^2 + |h_2|^2 p_1} \quad (5-2)$$

$$\gamma_{2 \rightarrow 1} = \frac{|h_1|^2 p_2}{\sigma^2 + |h_1|^2 p_1} \quad (6-2)$$

که $\gamma_{2 \rightarrow 1}$ و $\gamma_{2 \rightarrow 2}$ ، به ترتیب SNR کاربر دوم در خودش، و SNR کاربر دوم در کاربر اول می‌باشد. با توجه به اینکه SNR کاربر دوم در کاربر اول بزرگتر از SNR کاربر دوم در خودش می‌باشد ($\gamma_{2 \rightarrow 1} \geq \gamma_{2 \rightarrow 2}$)، کاربر اول سیگنال کاربر دوم را کدگشایی کرده و از سیگنال دریافتی حذف می‌کند. بنابراین SNR کاربر اول برابر است با:

$$\gamma_{1 \rightarrow 1} = \frac{|h_1|^2 p_1}{\sigma^2} \quad (7-2)$$

در نتیجه کاربر اول (کاربر خوب) با استفاده از تکنیک SIC می‌تواند پیام کاربران با شرایط بدتر را از سیگنال دریافتی خود حذف کند. بنابراین تکنیک PD-NOMA را به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد:

۱. ارسال سیگنال دو کاربر با استفاده از تکنیک SC.

۲. کاربر بد، سیگنال کاربر خوب را به عنوان نویز در نظر می‌گیرد و اطلاعات خود را از سیگنال y_k استخراج می‌کند.

^۱ Signal Noise Ratio

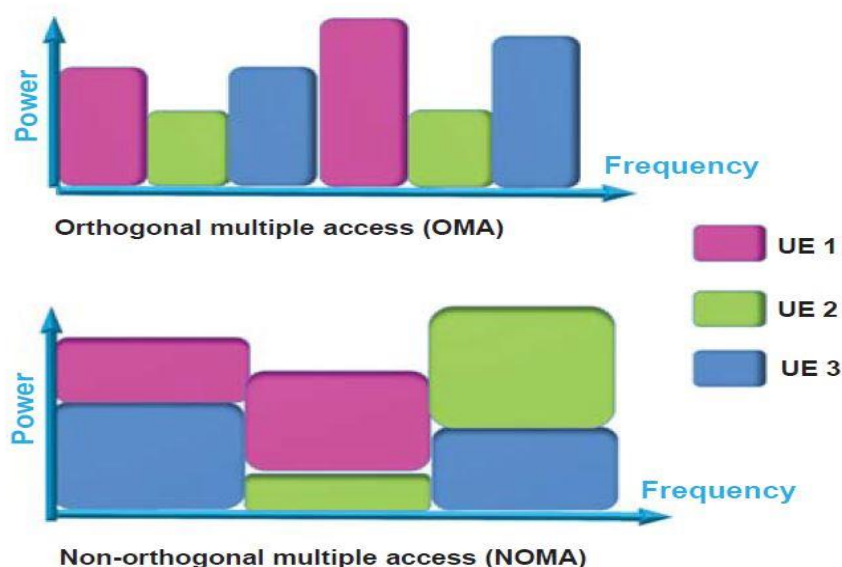
۳. کاربر خوب، با استفاده از تکنیک SIC، اطلاعات کاربر بد را کدگذاری کرده و آن را از سیگنال

y_k حذف می‌کند، سپس اطلاعات خود را از سیگنال y_k استخراج می‌کند.

بنابراین نرخ دو کاربر با استفاده از رابطه شنون^۱ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_1^{NOMA} = B \log(1 + \gamma_{1 \rightarrow 1}) \quad (۸-۲)$$

$$R_2^{NOMA} = B \log(1 + \gamma_{2 \rightarrow 2}) \quad (۹-۲)$$



شکل (۲-۲): مقایسه تکنیک OFDMA و NOMA [۲۶]

۲-۳-۱- مقایسه NOMA و OMA

تکنیک OMA در چند دهه گذشته به طور گسترده‌ای در سیستم‌های تلفن همراه استفاده شده است،

شکل (۲-۲) تکنیک‌های NOMA و OMA را برحسب دامنه توان به فرکانس نشان می‌دهد. در OMA

هر زیرحامل تنها به یک کاربر تخصیص داده می‌شود تا تداخل بین کاربرها را کاهش دهد، بنابراین

^۱ Relationship Shannon

حداکثر تعداد کاربری که می‌توانند از پهنای باند استفاده کنند به تعداد زیرحامل‌ها محدود می‌شود، اما در NOMA از یک زیرحامل چندین کاربر می‌توانند استفاده کنند. این محدودیت در OMA باعث می‌شود نتوان از طیف در دسترس به صورت بهینه استفاده کنیم. همچنین در تکنیک‌های OMA برای افزایش نرخ سیستم تمام منابع به کاربرانی که شرایط کانال بهتری دارند تخصیص داده می‌شود. بنابراین در این سیستم‌ها کاربران با شرایط بدتر، فرصتی برای ارسال اطلاعات خود ندارند. در حالی که مطابق با [۲۷] در تکنیک NOMA کاربر با شرایط بدتر امکان بیشتری برای انتقال اطلاعات خود دارد، لذا استفاده از تکنیک NOMA می‌تواند عملکرد کاربران ضعیف‌تر را بهبود بخشد. به این ترتیب با توجه به توضیحات داده شده، فرض کنید که یک کاربر در لبه سلول نیاز به ارسال داشته باشد اگر از تکنیک OMA استفاده کنیم، منابع قابل دسترس، فقط در اختیار کاربر لبه سلول قرار می‌گیرد تا اطلاعات خود را انتقال دهد، در صورتی که اگر از تکنیک NOMA برای انتقال اطلاعات استفاده کنیم، کاربرهای دیگر نیز می‌توانند همزمان از منابع در دسترس برای انتقال اطلاعات خود استفاده کنند. در نتیجه استفاده از تکنیک NOMA باعث کاهش تاخیر در انتقال اطلاعات و افزایش بهره‌وری طیفی می‌شود. به منظور بررسی کارایی طیفی دو روش، برای سیستم قبل، اگر ایستگاه پایه پیام خود را به صورت OFDMA ارسال کند نرخ دریافتی در دو کاربر برابر است با:

$$R_1^{OFDMA} = \alpha B \log \left(1 + \frac{|h_1|^2 P_1}{\sigma^2} \right) \quad (10-2)$$

$$R_2^{OFDMA} = (1 - \alpha) B \log \left(1 + \frac{|h_2|^2 P_2}{\sigma^2} \right) \quad (11-2)$$

که در آن فرض کردیم پهنای باند بین دو کاربر بصورت مساوی تقسیم شده است $\alpha = 0.5$ (دقت شود که با تقسیم شدن پهنای باند توان نویز نیز تقسیم می‌شود). با استفاده از [۲۸] مقادیر SNR کاربر یک $\frac{|h_1|^2 p}{\sigma^2} = 20dB$ و کاربر دو $\frac{|h_2|^2 p}{\sigma^2} = 0dB$ و $B = 1Hz$ در نظر گرفتیم. برای حالت OFDMA با فرض اینکه توان به صورت مساوی بین دو کاربر تقسیم شود ($p_1 = p_2 = .5p$) که p مجموع توان ارسالی است و برابر ۱ وات در نظر گرفتیم، نرخ مجموع دو کاربر با استفاده از رابطه (۲-۱۰) و (۲-۱۱) برابر با:

$$R^{OFDMA} = 3.33 + 0.5 = 3.83$$

می‌باشد. برای حالت NOMA توان دو کاربر را $p_1 = \frac{1}{5}p, p_2 = \frac{4}{5}p$ قرار می‌دهیم (توان بیشتر به کاربر ضعیف تر اختصاص داده شده است). بنابراین با استفاده از رابطه (۲-۸) و (۲-۹) داریم:

$$R^{NOMA} = 4.39 + 0.74 = 5.13$$

همانطور که مشاهده می‌کنید ارسال به صورت NOMA باعث افزایش ۳۴٪ در مجموع نرخ ارسالی می‌شود. برای SNRهای بالاتر مثلاً $\frac{|h_1|^2 p}{\sigma^2} = 30dB$ و $\frac{|h_2|^2 p}{\sigma^2} = 10dB$ مجموع نرخ برای دو حالت OFDMA و NOMA به ترتیب $R^{OFDMA} = 6.72$ و $R^{NOMA} = 9.52$ به دست می‌آید که مشاهده می‌شود برای حالت NOMA افزایش ۴۰٪ در مجموع نرخ ارسالی داریم و همچنین با مقایسه با حالت قبل مشاهده می‌کنیم که این درصد با افزایش SNR بیشتر می‌شود.

۲-۴- رله‌های تعاونی در شبکه‌های بی‌سیم

از جمله پارامترهای اساسی که در پیاده‌سازی شبکه‌های رله مورد نظر است نوع پردازشی است که باید روی سیگنال دریافت شده در رله انجام گیرد. که با توجه به پردازش‌های مختلف روی سیگنال دریافتی پروتکل‌های متفاوتی برای شبکه‌های رله وجود دارد.

در سیستم‌های برداشت انرژی بیشتر دو نوع ۱-رله‌های تقویت و ارسال AF^1 ۲-رله‌های کدگشایی و ارسال DF^2 استفاده می‌شود. در نوع AF ، رله بعد از دریافت سیگنال آن را تقویت و سپس ارسال می‌کند، مشکلی که در این نوع رله‌ها وجود دارد تقویت نویز همراه با سیگنال می‌باشد. در نوع DF ، رله پس از دریافت سیگنال آن را کدگشایی و سپس ارسال می‌کند. مشکل اساسی که احتمال رخداد آن در این نوع رله‌ها وجود دارد، کدگشایی اشتباه در رله می‌باشد. در این تحقیق از رله DF برای سرویس‌دهی به کاربران لبه سلول استفاده شده است.

۲-۵- تخصیص منابع و بهینه‌سازی

تخصیص منابع در شبکه‌های سلولی برای بهبود عملکرد شبکه بسیار حائز اهمیت می‌باشد. هدف از تخصیص منابع در این شبکه‌ها، تخصیص فرکانس و توان به‌منظور بهبود کارایی شبکه با در نظر گرفتن محدودیت‌های فیزیکی مانند محدودیت طیف قابل دسترس و توان مصرفی شبکه می‌باشد [۲۶].

¹ Amplify and Forward

² Decode and Forward

طراحی سیستم‌ها می‌تواند به عنوان مسائل بهینه‌سازی فرمول‌بندی شوند، به طوری که یک معیار عملکرد بهینه شود و در عین حال همه قیود برآورده شوند. یک مساله بهینه‌سازی در حالت کلی به شکل زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \min_x \quad & f_0(x) \\ \text{s.t.} \quad & f_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, m \\ & h_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots, p \end{aligned} \quad (12-2)$$

که در آن x یک بردار n بعدی شامل متغیرهای بهینه‌سازی، f_0 تابع هدف، f_i توابع قیدهای نامساوی و h_i توابع قیدهای مساوی مساله بهینه‌سازی می‌باشند. هدف پیدا کردن x بهینه از میان مجموعه x های تعریف شده است به گونه‌ای که تابع هدف مینیمم شود. با توجه به شکل تابع هدف و شرطهای مساله (خطی، غیرخطی و محدب) و نوع متغیرها (گسسته و پیوسته) مسائل بهینه‌سازی دسته بندی می‌شوند.

۱. مسائل خطی

مساله بهینه‌سازی (۱۲-۲) را یک مساله خطی^۱ گوییم هر گاه تابع هدف و شرطهای مساله خطی و متغیرهای بهینه‌سازی پیوسته باشند. اگر تابع هدف و یا تعدادی از شرطها غیرخطی باشند مساله از نوع غیر خطی^۲ می‌باشد.

۲. مسائل خطی عدد صحیح^۳ (IP)

اگر متغیرهای مساله به یک مقدار صحیح محدود شوند مساله (۱۲-۲) یک مساله بهینه‌سازی

^۱ Linear Programming

^۲ Non-Linear Programming

^۳ Integer Programming

IP می‌باشد. نوع خاص از مسائل IP با تعریف متغیر بهینه‌سازی به عنوان یک عدد باینری به دست می‌آید. اگر تعداد خاصی از متغیرهای بهینه‌سازی اعداد صحیح تعریف شوند مساله (۲-۱۲) تبدیل به یک مساله ترکیبی^۱ می‌شود.

۳. مسائل محدب

مساله (۲-۱۲) را یک مساله محدب گوییم هر گاه تابع هدف در فضای تعریف شده به وسیله شرطها محدب باشد و همچنین شرطهای نامساوی f_i به ازای هر i نیز محدب، و شرطهای مساوی affine باشند. مسائل LP از نوع مسائل محدب نیز می‌باشند. در مسائل محدب یک جواب بهینه محلی، یک جواب بهینه سراسری نیز به شمار می‌آید.

به دلیل اهمیت مسائل بهینه‌سازی محدب در این قسمت مروری به مفاهیم آن می‌پردازیم.

۲-۶- بهینه‌سازی محدب

مجموعه $C_x \subseteq R^N$ را محدب گوییم هر گاه $\forall x_1, x_2 \in C_x$ و برای هر $\alpha, \beta \in [0,1]$ به طوری- که $\alpha + \beta = 1$ داشته باشیم:

$$\alpha x_1 + \beta x_2 \in C_x$$

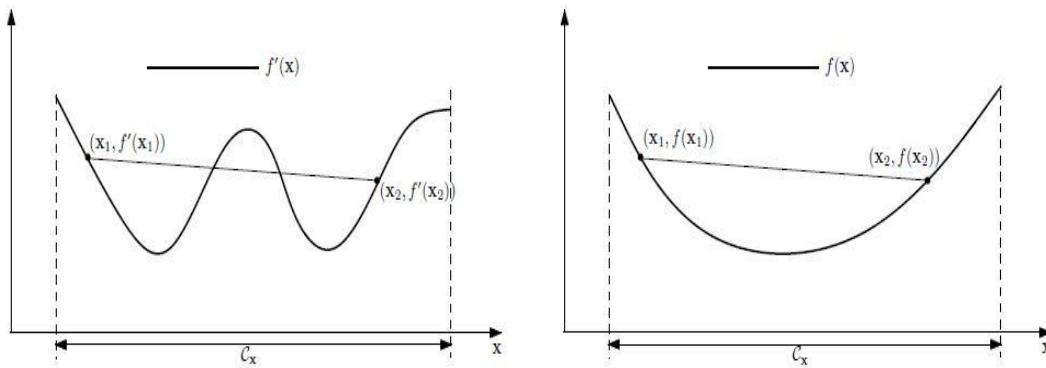
از نظر هندسی مجموعه‌ای را محدب گوییم هر گاه به ازای هر دو نقطه از اعضای یک مجموعه، پاره خط واصل بین دو نقطه نیز درون آن مجموعه قرار بگیرد.

تابع $f(x)$ روی یک مجموعه $C_x \subseteq R^N$ محدب است اگر $\forall x_1, x_2 \in C_x$ و برای هر $\alpha, \beta \in [0,1]$ به طوری که $\alpha + \beta = 1$ داشته باشیم:

$$\alpha f(x_1) + \beta f(x_2) \geq f(\alpha x_1 + \beta x_2) \quad (۲-۱۳)$$

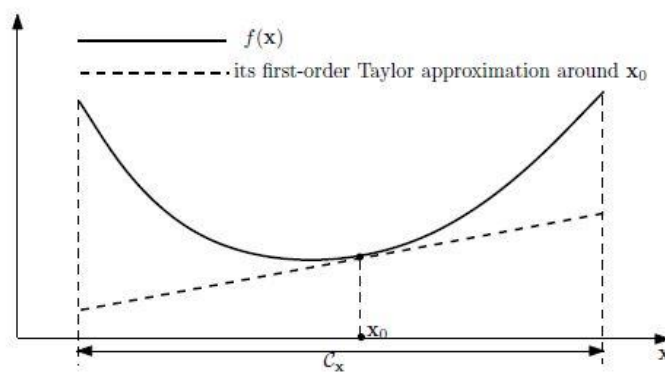
^۱ Mix Integer Programming

از نظر هندسی تابع $f(x)$ روی ناحیه C_x محدب است اگر خط واصل بین دو نقطه‌ی $(x_1, f(x_1))$ و $(x_2, f(x_2))$ هنگامی که از نقطه x_1 به سمت نقطه x_2 حرکت کنیم بالای منحنی $(x, f(x))$ باشد. تابع f را اکیدا محدب گوئیم هرگاه نامساوی (۲-۱۳) به صورت اکید برقرار باشد. یک تابع محدب و غیر محدب در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



شکل (۲-۳) توابع محدب و غیر محدب [۲۹]

در توابع نمودار خطی همواره نامساوی (۲-۱۳) برقرار است، بنابراین توابع نمودار خطی هم مقعر و هم محدب هستند.



شکل (۲-۴) شرایط مرتبه اول محدب بودن یک تابع [۲۹]

۲-۶-۱- شرایط مرتبه اول برای محدب بودن یک تابع

اگر تابع f مشتق پذیر باشد (گرادیان f در هر نقطه‌ی دامنه‌ی f وجود داشته باشد)، آنگاه f محدب است هرگاه دامنه‌ی f محدب باشد و برای همه‌ی x و y ها در دامنه‌ی f رابطه زیر برقرار باشد:

$$f(y) \geq f(x) + \nabla f(x)^T (y - x)$$

این نامساوی در شکل (۲-۴) توضیح داده شده است.

تابع $f(x) + \nabla f(x)^T (y - x)$ تابعی نموا خطی از y می‌باشد که تقریب مرتبه‌ی اول تیلور تابع f در نزدیکی x می‌باشد.

۲-۶-۲- شرایط مرتبه دوم برای محدب بودن یک تابع

اگر تابع f دو بار مشتق پذیر باشد یعنی $\nabla^2 f(x)$ (ماتریس هسین^۱) در هر نقطه دامنه‌ی f وجود داشته باشد، آنگاه تابع f محدب است اگر و فقط اگر دامنه‌ی f محدب باشد و $\nabla^2 f(x)$ نیمه معین مثبت باشد، یعنی $\nabla^2 f(x) \geq 0$ این شرط از نظر هندسی به این معناست که تابع در نقطه‌ی x دارای انحنای مثبت باشد.

بعضی از مسائل در نگاه اول شاید از نوع محدب نباشند اما می‌توان با یک سری تقریب‌ها این گونه مسائل را تبدیل به مسائل محدب نمود، و مساله تقریبی را با استفاده از روش‌هایی که برای حل مسائل محدب بیان می‌شود، حل کرد. که در ادامه به توضیح دو روش تقریب که در این تحقیق از آن‌ها استفاده شده است می‌پردازیم.

^۱ Hessian matrix

۷-۲- روش‌های تقریب

زمانی که مساله ما غیر محدب است و یا شامل متغیرهای پیوسته و گسسته به‌طور همزمان باشد، از روش‌های تقریب برای تبدیل مساله غیرمحدب به یک مساله قابل حل استفاده می‌کنیم. از میان روش‌های متفاوت، در اینجا از دو روش برنامه ریزی کسری غیر خطی (NLFP^۱) و SCA^۲ استفاده شده است که در ادامه به‌طور کامل توضیح داده می‌شوند.

۷-۲-۱- برنامه‌ریزی کسری غیر خطی

فرم کلی یک مساله کسری غیر خطی به‌صورت زیر قابل بیان است :

$$\max_x \frac{f_1(x)}{f_2(x)} \quad (۷-۲-۱۴)$$

$$s.t : \quad g(x) \leq 0$$

که در آن f_2 و g که در ناحیه C از صفحه مختصات تعریف شده‌اند توابعی پیوسته، مشتق پذیر و محدب می‌باشند و تابع f_1 در این ناحیه تابعی پیوسته، مشتق پذیر و مقعر می‌باشد.

قضیه ۲-۱: بیشترین مقدار تابع هدف که با q^* نشان داده می‌شود، به دست می‌آید، اگر و تنها اگر

برای $f_1 \geq 0$ و $f_2 > 0$ داشته باشیم [۳۲]

$$\max_{x'} f_1(x') - q^* f_2(x') = f_1(x^*) - q^* f_2(x^*) = 0$$

^۱ Non-Linear Fractional Programming

^۲ Sequence of Convex Approximation

با توجه به قضیه گفته شده می‌توان گفت برای هر مساله بهینه‌سازی با تابع هدف به فرم کسری، یک تابع هدف با فرم تفاضلی موجود است که برای حل آن از یک الگوریتم تکرار شونده استفاده می‌کنیم که در فصل سوم به توضیح آن خواهیم پرداخت.

۲-۷-۲- روش‌های SCA

این روش شامل سه روش ^۱SCALE، ^۲AGMA و ^۳DC می‌باشد. که در این تحقیق از روش DC برای تقریب‌زدن توابع غیرمحدب نرخ، به توابعی محدب استفاده شده است.

توابعی به شکل $f - g$ که در آن f, g توابعی مقعر هستند را در نظر بگیرید، در این روش با استفاده از تقریب مرتبه اول تیلور یک کران بالا برای تابع مقعر g تعریف می‌شود و سپس از یک الگوریتم تکرار شونده برای حل آن استفاده می‌کنیم.

$$g(P) \approx g(P[t_p - 1]) + \nabla g^T(P[t_p - 1])(P - P[t_p - 1]) \quad (۱۵-۲)$$

که در آن $P[t_p - 1]$ بیان‌کننده‌ی مقدار توان به دست آمده از تکرار قبل می‌باشد.

^۱ Successive Convex Approximation for Low Complexity

^۲ Arithmetic Geometric Mean Approximation

^۳ Difference of Two Concave Functions

فصل سوم

مدل سیستم و حل مساله

۳-۱- مقدمه

در این فصل هدف بررسی یک سیستم چند سلولی مبتنی بر تکنیک NOMA می‌باشد، بدین منظور ابتدا کار خود را از یک سیستم مدل ساده شامل یک ایستگاه پایه، یک رله و دو کاربر شروع می‌کنیم، سپس سیستم را گسترش داده و در حالت تک سلول^۱ و چند سلول^۲ در نظر می‌گیریم. در طول این فصل فرض بر این است که ایستگاه پایه و رله برای ارسال اطلاعات خود به ترتیب از روش OFDMA و OFDMA-NOMA استفاده می‌کنند همچنین فرض کردیم پیام ارسالی توسط ایستگاه پایه شامل پیام U کاربر تخصیص یافته به رله می‌باشد [۱۵].

۳-۲- سیستم تک سلولی متشکل از دو کاربر و یک رله

سیستم مدل اولیه شامل یک ایستگاه پایه (BS)، یک رله DF و دو کاربر می‌باشد. بهره کانال‌ها از ایستگاه پایه به رله و از رله به دو کاربر روی زیر حامل n را به ترتیب با g^n و h_k^n که در آن $k = 1, 2$ نشان می‌دهیم. بنابراین پیام دریافتی در رله به صورت زیر قابل بیان می‌باشد:

$$y_r^n = \sqrt{p_s^n} g^n x^n + w_r^n \quad (1-3)$$

که در آن p_s^n و w_r^n به ترتیب توان ارسالی منبع و نویز در رله روی زیر حامل n می‌باشد و $x^n = x_1^n + x_2^n$ شامل پیام هر دو کاربر با میانگین صفر و واریانس یک است، که توسط فرستنده ارسال می‌شود. رله $\sqrt{\alpha} y_r^n$ از سیگنال دریافتی را برای کدگذاری اطلاعات و باقی‌مانده سیگنال

¹ Single cell

² Multi cell

دریافت می کند برابر است با: $\sqrt{1-\alpha}y_r^n$ را برای برداشت انرژی استفاده می کند. بنابراین سیگنال که رله برای کدگذاری اطلاعات

$$y_r^n = \sqrt{\alpha p_s^n} g^n x^n + w_r^n \quad (2-3)$$

SNR و نرخ دریافتی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\gamma_r^n = \frac{\alpha p_s^n |g^n|^2}{E[|w_r^n|^2]}$$

$$R_r^n = 0.5 \log(1 + \gamma_r^n) \quad (3-3)$$

رله پس از کدگذاری سیگنال دو کاربر با استفاده از تکنیک SC اطلاعات خود را روی تمام زیرحامل-ها ارسال می کند:

$$x_r^n = \sqrt{p_1^n} x_1^n + \sqrt{p_2^n} x_2^n \quad (4-3)$$

که در این رابطه سیگنال x_1^n و x_2^n مستقل از یکدیگر می باشند و p_1^n و p_2^n به ترتیب توان تخصیص یافته توسط رله به کاربر اول و دوم روی زیر حامل n می باشد. بنابراین سیگنالی که کاربر k ام دریافت می کند به صورت زیر می باشد:

$$y_k^n = h_k^n x_r^n + w_k^n \quad k = 1, 2 \quad (5-3)$$

که در آن w_k^n نویز دریافتی در دو کاربر می باشد، همچنین فرض کردیم که دو کاربر بر اساس بهره کانال خود به صورت $|h_1^n|^2 \geq |h_2^n|^2$ مرتب شده اند. بنابراین کاربر اول با استفاده از تکنیک SIC سیگنال کاربر دوم را حذف می کند و کاربر دوم سیگنال کاربر اول را به عنوان تداخل در نظر می گیرد.

طبق رابطه شنون مقدار بیتی که در هر ثانیه هر یک از دو کاربر ارسال می کنند به صورت زیر محاسبه می شود:

$$R_1^n = 0.5 \log \left(1 + \frac{p_1^n |h_1^n|^2}{E[|w_1^n|^2]} \right) \quad (6-3)$$

$$R_2^n = 0.5 \log \left(1 + \frac{p_2^n |h_2^n|^2}{E[|w_2^n|^2] + |h_2^n|^2 p_1^n} \right) \quad (7-3)$$

که ضریب ۰,۵ به خاطر انتقال اطلاعات در دو بازه زمانی ظاهر شده است.

۳-۲-۱- برداشت انرژی در سیستم تک سلولی متشکل از دو کاربر و یک رله

انرژی که توسط رله در این انتقال برداشت می شود برابر است با مجموع انرژی که از تمام زیر حامل ها دریافت می کند، که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$E_r = \frac{\eta(1-\alpha)T}{2} \sum_{n=1}^N g^n p_s^n \quad (8-3)$$

T مدت زمانی است که طول می کشد اطلاعات از BS به کاربر برسد در اینجا فرض شده است $T = 1$. از طرفی رله نمی تواند همه انرژی سیگنال دریافتی را به طور کامل برداشت کند، یک ضریبی از آن را بسته به مدار برداشت انرژی می تواند بعنوان انرژی برداشت کند که با $\eta \in (0,1)$ نشان می دهیم. سپس رله از این انرژی برای ارسال اطلاعات خود در بازه دوم استفاده می کند، بنابراین برای توان مصرفی رله باید داشته باشیم:

$$p_r \leq \frac{2E_r}{T} = \eta(1-\alpha) \sum_{n=1}^N |g^n|^2 p_s^n \quad (9-3)$$

۳-۲-۱- مساله بهینه‌سازی در سیستم تک سلولی متشکل از دو کاربر و یک رله

با توجه به موارد تعریف شده مساله بهینه‌سازی به صورت زیر مطرح می‌شود:

$$\max_{P, \alpha} \frac{\min \left\{ \sum_{n=1}^N R_r^n, \sum_{n=1}^N (R_1^n + R_2^n) \right\}}{\sum_n p_s^n + P_c} \quad (۱۰-۳)$$

$$s.t: P_{\min} \leq \sum p_s^n \leq P_{\max} \quad (ب-۱۰-۳)$$

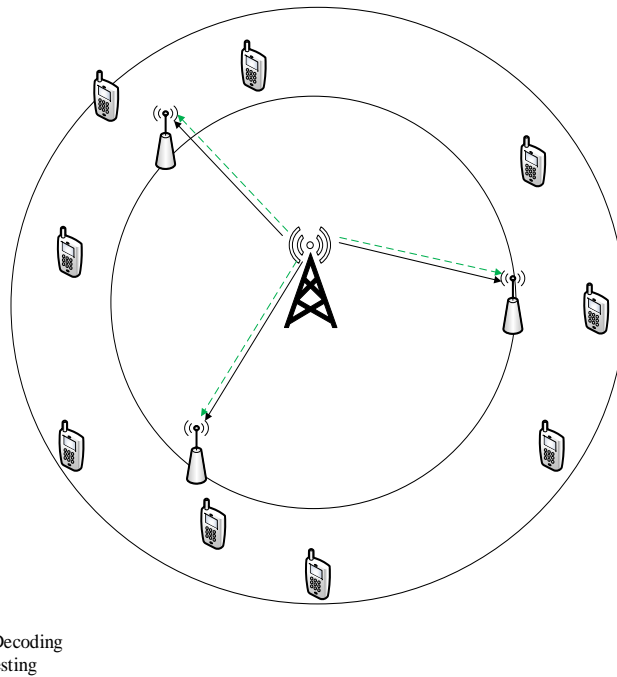
$$p_r \leq \eta(1-\alpha) \sum_{n=1}^N |g^n|^2 p_s^n \quad (ج-۱۰-۳)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (د-۱۰-۳)$$

$$\sum_{n=1}^N (R_1^n + R_2^n) \geq R_{\min} \quad (و-۱۰-۳)$$

$$p_s^n \geq 0, p_1^n \geq 0, p_2^n \geq 0 \quad (ه-۱۰-۳)$$

که (ب-۱۰-۳) محدوده توان ارسالی توسط ایستگاه پایه را نشان می‌دهد، شرط (ج-۱۰-۳) نشان دهنده بیشترین توانی است که رله می‌تواند ارسال کند، که باید از توانی که در بازه‌ی اول برداشت کرده کم‌تر باشد، شرط (د-۱۰-۳) ضریب برداشت انرژی را به یک عدد در بازه صفر و یک محدود می‌کند و (و-۱۰-۳) کمترین نرخ دریافتی مورد نیاز هر کاربر را مشخص می‌کند که باید از یک R_{\min} مشخصی کمتر باشد. شرط (ه-۱۰-۳) نشان می‌دهد که توان ارسالی توسط ایستگاه پایه و رله روی هر زیرحامل باید بزرگتر مساوی صفر باشد.



شکل (۱-۳) سیستم تک سلولی

۳-۳- سیستم تک سلولی

همانطور که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است یک سلول شامل یک ایستگاه پایه و چندین رله که آن‌ها را با J نشان می‌دهیم، به فاصله D از ایستگاه پایه توزیع شده‌اند در نظر می‌گیریم. ایستگاه پایه و رله‌ها برای ارسال اطلاعات خود از N زیرحامل استفاده می‌کنند، هر رله قسمتی از سلول را پوشش می‌دهد و هرکدام از رله‌ها تعداد U کاربر در ناحیه تحت پوشش خود دارد. پارامترهای در نظر گرفته شده برای این سیستم به صورت زیر تعریف می‌شوند.

p_j^n و g_j^n به ترتیب بهره کانال و توان تخصیص یافته توسط ایستگاه پایه به رله j روی زیر حامل n و $p_{j,u}^n$ و $h_{j,u}^n$ به ترتیب بهره کانال و توان تخصیص یافته توسط رله j به کاربر u روی زیر حامل n ام می‌باشد. متغیر باینری $\rho_j^n \in \{0,1\}$ ضریب تخصیص زیرحامل است که وقتی زیرحامل n به رله j

اختصاص یابد یک در غیر این صورت صفر می باشد. فرض کردیم که هر زیرحاملی که به رله j اختصاص یابد همان زیرحامل را رله j برای ارسال اطلاعات به کاربران خود به صورت NOMA استفاده می کند به این ترتیب تداخل در کاربرها فقط ناشی از تکنیک NOMA می باشد. همچنین فرض شده کاربرها برای هر رله بر اساس بهره کانال شان به صورت $|h_{j,U}^n|^2 \geq |h_{j,2}^n|^2 \geq \dots \geq |h_{j,1}^n|^2$ مرتب شده اند. بنابراین سیگنال های دریافتی توسط رله و کاربرها به صورت زیر می باشند.

سیگنال دریافتی در رله j مابراین:

$$y_j^n = \rho_j^n \sqrt{p_j^n} g_j^n x_j^n + w_n^j \quad (11-3)$$

است که رله $\sqrt{\alpha} y_j^n$ مقدار از سیگنال دریافتی را برای کدگشای اطلاعات خود و باقی مانده $\sqrt{1-\alpha} y_j^n$ از سیگنال دریافتی را برای برداشت انرژی استفاده می کند. بنابراین سیگنال که رله برای کدگشایی اطلاعات استفاده می کند برابر است با:

$$y_j^n = \rho_j^n \sqrt{p_j^n \alpha} g_j^n x_j^n + w_j^n \quad (12-3)$$

به این ترتیب SNR در رله j مابراین به صورت زیر به دست می آید:

$$\gamma_j^n = \frac{\alpha |g_j^n|^2 p_j^n}{E[|w_j^n|^2]} \quad (13-3)$$

رله پس از دریافت سیگنال و استخراج پیام U کاربر خود پیام آن ها را به صورت NOMA ارسال می کند بنابراین سیگنالی که کاربر u رله j روی زیرحامل n دریافت می کند به صورت زیر می باشد:

$$y_{j,u}^n = \rho_j^n h_{j,u}^n \sum_{u'=1}^U \sqrt{p_{j,u'}^n} x_{j,u'}^n + w_{j,u}^n \quad (14-3)$$

بر اساس تکنیک SIC کاربر u تداخل کاربران ضعیف‌تر از خود را حذف می‌کند، و سیگنال کاربران قوی‌تر از خود را به عنوان نویز در نظر می‌گیرد. به این ترتیب SINR در کاربر u رله z ام به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma_{j,u}^n = \frac{p_{j,u}^n |h_{j,u}^n|^2}{E[|w_{j,u}^n|^2] + I_{j,u}^n(P)} \quad (15-3)$$

که در آن $I_{j,u}^n(P)$ تداخل ناشی از NOMA می‌باشد و برابر است با:

$$I_{j,u}^n(P) = |h_{j,u}^n|^2 \sum_{u'=1}^{u-1} p_{j,u'}^n \quad (16-3)$$

طبق رابطه شنون نرخ دریافتی رله z و کاربر u رله z ام به ترتیب برابر است با:

$$R_j^n(P, \rho) = 0.5 \rho_j^n \log(1 + \gamma_j^n) \quad (17-3)$$

$$R_{j,u}^n(P, \rho) = .05 \rho_j^n \log(1 + \gamma_{j,u}^n) \quad (18-3)$$

نرخ‌های که کاربر u توسط رله z در طول این انتقال دریافت می‌کند برابر است با مجموع نرخ‌های که روی کل زیرحامل‌ها دریافت می‌کند:

$$R_{j,u}(P, \rho) = \min \left\{ \sum_{n=1}^N R_j^n(P, \rho), \sum_{n=1}^N R_{j,u}^n(P, \rho) \right\} \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall u \in \{1, \dots, U\} \quad (19-3)$$

تعداد کل بیت‌های ارسالی توسط این سیستم را به صورت زیر تعریف

$$U(P, \rho, \alpha) = \sum_{j=1}^J \sum_{u=1}^U R_{j,u} \quad (20-3)$$

مقدار توانی که برای ارسال این مقدار بیت مصرف می‌شود برابر است با:

$$U_{Tp}(P, \rho, \alpha) = \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \rho_j^n p_j^n + P_c \quad (21-3)$$

با استفاده از روابط (3-20) و (3-21) بهره انرژی به صورت زیر تعرف می‌شود:

$$EE(P, \rho, \alpha) = \frac{U(P, \rho, \alpha)}{U_{Tp}(P, \rho, \alpha)} \quad (22-3)$$

3-3-1- برداشت انرژی در سیستم تک سلولی

مقدار انرژی برداشت شده توسط هر رله در طول انتقال روی زیر حامل‌هایی که به آن رله اختصاص یافته است به صورت زیر به دست می‌آید:

$$E_j = \frac{\eta(1-\alpha)T}{2} \sum_{n=1}^N \rho_j^n |g_j^n|^2 p_j^n \quad \forall j \in J \quad (23-3)$$

بنابراین حداکثر توانی که هر رله برای ارسال اطلاعات خود در دسترس دارد برابر است با:

$$\sum_n^N \sum_u^U p_{j,u}^n \leq \frac{2E_j}{T} = \eta(1-\alpha) \sum_n^N \rho_j^n p_j^n |g_j^n|^2 \quad \forall j \in J \quad (24-3)$$

3-3-2- مساله بهینه‌سازی در سیستم تک سلولی

هدف بیشینه کردن بهره‌وری انرژی با شرط محدود بودن توان در دسترس ایستگاه پایه می‌باشد. مساله بهینه‌سازی به صورت زیر مطرح می‌شود:

$$\max_{P, \alpha, \rho} EE(P, \alpha, \rho) \quad (25-3)$$

$$s.t: \sum_j \sum_n \rho_j^n p_j^n \leq P_{\max} \quad (ب-۲۵-۳)$$

$$\sum_{n=1}^N \rho_j^n p_j^n \geq P_{\min} \quad \forall j \in J \quad (ج-۲۵-۳)$$

$$\sum_n \sum_u p_{j,u}^n \leq \frac{2E_j}{T} = \eta(1-\alpha) \sum_n \rho_j^n p_j^n |g_j^n|^2 \quad \forall j \in J \quad (د-۲۵-۳)$$

$$\rho_j^n \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad \forall n \in N \quad (و-۲۵-۳)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (ه-۲۵-۳)$$

$$\sum_{n=1}^N R_{j,u}^n(P, \rho) \geq R_{\min} \quad \forall j \in J, \forall u \in U \quad (ز-۲۵-۳)$$

$$p_j^n \geq 0, p_{j,u}^n \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall n \in N, \quad \forall u \in U \quad (۳-۲۵-۳)$$

در این مساله شرط‌های (۳-۲۵-د) و (۳-۲۵-ه) و (۳-۲۵-ز) و (۳-۲۵-ج) مانند سیستم قبلی برای هر رله تعریف می‌شوند. شرط (۳-۲۵-ب) توان ارسالی توسط ایستگاه پایه را محدود می‌کند و در (۳-۲۵-ج) P_{\min} نشان‌دهنده کمترین توان مورد نیاز رله است که باید توسط ایستگاه پایه ارسال شود و شرط (۳-۲۵-و) نشان‌دهنده این است که روی هر زیر حامل تنها برای یک رله می‌توان اطلاعات ارسال کرد.

۳-۴- مساله تخصیص منابع در یک سیستم چند سلولی

در این قسمت حالتی را در نظر گرفتیم شامل M سلول، که هر سلول مانند حالت قبل شامل یک ایستگاه پایه، J رله که هر رله U کاربر در ناحیه تحت پوشش خود دارد. تعداد کاربرانی که توسط M ایستگاه پایه سرویس دهی می‌شوند را به G گروه تقسیم می‌کنیم به طوری که هر گروه دارای g کاربر می‌باشد که با N_g نمایش می‌دهیم. رله مانند سیستم قبل از نوع DF می‌باشد و قابلیت برداشت انرژی

از سیگنال دریافتی را دارد. برای هر رله یک ضریب برداشت انرژی در نظر می‌گیریم. پارامترهای سیستم به صورت زیر تعریف می‌شوند.

g_{m,j_m}^n و P_{m,j_m}^n به ترتیب بهره کانال و توان ارسالی به رله j_m توسط ایستگاه پایه m روی زیر حامل j_m ، $h_{m,j_m,u}^n$ و $P_{m,j_m,u}^n$ به ترتیب بهره کانال و توان ارسالی به کاربر u در سلول m توسط رله j_m روی زیر حامل m و g_{m',j_m}^n و $h_{m',j_m,u}^n$ به ترتیب تداخل از سلول مجاور m' در رله j سلول m و تداخل از رله j سلول مجاور m' در کاربر u سلول m می‌باشند. $\rho_{m,j}^n \in \{0,1\}$ ضریب تخصیص زیر حامل است، اگر زیر حامل n در سلول m به رله j اختصاص یابد یک در غیر اینصورت صفر می‌باشد. در اینجا هم فرض کردیم ایستگاه پایه هر زیر حاملی را که برای ارسال اطلاعات خود به رله استفاده می‌کند، رله نیز از همان زیر حامل برای ارسال اطلاعات به کاربران ناحیه تحت پوشش خود به صورت NOMA استفاده می‌کند. بنابراین در کاربرها علاوه بر تداخل ناشی از تکنیک NOMA تداخل از سلول‌های مجاور نیز داریم.

سیگنالی که توسط ایستگاه پایه m به رله j_m ارسال می‌شود و شامل پیام هر U کاربر رله j می‌باشد به صورت زیر است:

$$y_{m,j_m}^n = \rho_{m,j_m}^n \sqrt{\alpha_{m,j_m} P_{m,j_m}^n} g_{m,j_m}^n x_{m,j_m}^n + \sum_{\substack{m'=1 \\ m' \neq m}}^M \sum_{j_{m'}}^J \rho_{m',j_{m'}}^n \sqrt{\alpha_{m',j_{m'}} P_{m',j_{m'}}^n} g_{m',j_m}^n x_{m',j_{m'}}^n + w_{m,j_m}^n \quad (۲۶-۳)$$

به این ترتیب SINR^1 به صورت زیر محاسبه می‌شود:

¹ signal-to-interference-plus-noise ratio

$$\gamma_{m,j_m}^n = \frac{\rho_{m,j_m}^n \alpha_{m,j_m} p_{m,j_m}^n |g_{m,j_m}^n|^2}{E\left[|w_{m,j_m}^n|^2\right] + I_{m,j_m}^n(P, \rho, \alpha)} \quad (27-3)$$

که در این رابطه $I_{m,j}^n(P, \rho, \alpha)$ تداخل ناشی از سلول‌های مجاور در رله j روی زیر حامل n می‌باشد و به صورت زیر بدست می‌آید:

$$I_{m,j_m}^n(P, \rho, \alpha) = \sum_{\substack{m'=1 \\ m' \neq m}}^M \sum_{j_m'=1}^J \rho_{m',j_m'}^n \alpha_{m',j_m'} p_{m',j_m'}^n |g_{m',j_m'}^n|^2 \quad (28-3)$$

رله پس از دریافت این سیگنال و استخراج پیام U کاربر خود پیام آن‌ها را به صورت NOMA ارسال می‌کند، در اینجا هم فرض کردیم کاربرها بر اساس بهره کانال‌شان در هر رله به صورت $|h_{m,j_m,1}^n|^2 \geq |h_{m,j_m,2}^n|^2 \geq \dots \geq |h_{m,j_m,U}^n|^2$ مرتب شده‌اند. بر اساس تکنیک SIC هر کاربر می‌تواند تداخل ناشی از کاربرهای ضعیف‌تر از خود را حذف کند و تداخل ناشی از کاربران قوی‌تر را به عنوان نویز در نظر می‌گیرد.

بنابراین سیگنالی که کاربر u در سلول m توسط رله j دریافت می‌کند برابر است با:

$$y_{m,j_m,u}^n = \rho_{m,j_m}^n h_{m,j_m,u}^n \left(\sum_{u'=1}^U \sqrt{p_{m,j_m,u'}^n} x_{m,j_m,u'}^n \right) + \sum_{\substack{m'=1 \\ m' \neq m}}^M \sum_{j_m'=1}^J \rho_{m',j_m'}^n h_{m',j_m',u}^n \left(\sum_{u'=1}^U \sqrt{p_{m',j_m',u'}^n} x_{m',j_m',u'}^n \right) \quad (29-3)$$

SINR کاربر u به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\gamma_{m,j_m,u}^n = \frac{\rho_{m,j_m}^n |h_{m,j_m,u}^n|^2 p_{m,j_m,u}^n}{E\left[|w_{m,j_m,u}^n|^2\right] + I_{m,j_m,u}^n(P, \rho)} \quad (30-3)$$

که در این رابطه تداخل در کاربر u از سلول‌های مجاور و تداخل NOMA را با $I_{m,j,u}^n(P, \rho)$ نشان دادیم و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I_{m,j,u}^n(P, \rho) = \underbrace{\left| h_{m,j,u}^n \right|^2 \rho_{m,j}^n \left(\sum_{u'=1}^{u-1} P_{m,j,u'}^n \right)}_{I_{m,j,u}^{NOMA}(P, \rho)} + \underbrace{\sum_{m'=1}^M \sum_{j_m'=1}^J \rho_{m',j_m'}^n \left| h_{m',j_m',u}^n \right|^2 \left(\sum_{u'=1}^U P_{m',j_m',u'}^n \right)}_{I(P, \rho)} \quad (31-3)$$

بنابراین نرخ دریافتی هر کاربر طبق رابطه شنون به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{m,j_m,u}^n = 0.5 \log(1 + \gamma_{m,j_m,u}^n) \quad (32-3)$$

فرض کردیم که کاربر با شرایط کانال بهتر سیگنال کاربر با شرایط بدتر را می‌تواند حذف کند. در دو سیستم مدل قبلی که تداخل از سلول مجاور نداشتیم تنها فرض بیشتر بودن بهره کانال برای حذف تداخل کاربر بد توسط کاربر خوب کافی بود اما در این سیستم مدل که تداخل ناشی از سلول مجاور داریم، زمانی کاربر خوب می‌تواند سیگنال کاربر بد را حذف کند که SINR کاربر بد (u) در کاربر خوب (i)، $\gamma_{m,j_m,u}^n(i)$ از SINR کاربر بد در خودش $\gamma_{m,j_m,u}^n(u)$ بیشتر باشد.

با توجه به توضیحات داده شده در این سیستم برای حذف سیگنال کاربر بد توسط کاربر خوب باید داشته باشیم:

$$\gamma_{m,j_m,u}^n(i) - \gamma_{m,j_m,u}^n(u) \geq 0 \quad \forall n \in N \quad \forall m \in M \quad \forall j_m \in J \quad \forall i, u \in U, \left| h_{m,j_m,i}^n \right|^2 \geq \left| h_{m,j_m,u}^n \right|^2 \quad (33-3)$$

با جایگذاری از رابطه (30-3) داریم:

$$\frac{\rho_{m,j_m}^n \left| h_{m,j_m,i}^n \right|^2 P_{m,j_m,u}^n}{E \left[\left| w_{m,j_m,i}^n \right|^2 \right] + I_{m,j_m,i}^n} \geq \frac{\rho_{m,j_m}^n \left| h_{m,j_m,u}^n \right|^2 P_{m,j_m,u}^n}{E \left[\left| w_{m,j_m,u}^n \right|^2 \right] + I_{m,j_m,u}^n}$$

که با ساده سازی به رابطه زیر می‌رسیم:

$$\begin{aligned} & |h_{m,j_m,i}^n|^2 \left(E \left[|w_{m,j_m,u}^n|^2 \right] + I(P, \rho) \right) - |h_{m,j_m,u}^n|^2 \left(E \left[|w_{m,j_m,i}^n|^2 \right] + I(P, \rho) \right) \geq 0 \\ & \forall n \in N \quad \forall m \in M \quad \forall j_m \in J \quad i, u \in U, |h_{m,j_m,i}^n|^2 \geq |h_{m,j_m,u}^n|^2 \end{aligned} \quad (33-3)$$

با برقراری رابطه (33-3) و با توجه به فرمول‌های محاسبه شده، نرخ‌ی که مجموع U کاربر رله z دریافت می‌کنند برابر است با:

$$R_{m,j_m} = \min \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{u=1}^U R_{m,j_m,u}^n, \sum_{n=1}^N R_{m,j_m}^n \right\} \quad \forall m \in \{1, \dots, M\} \quad \forall j_m \in \{1, \dots, J\} \quad (34-3)$$

تعداد کل بیت‌هایی که توسط این سیستم ارسال می‌شود برابر است با:

$$U(P, \alpha, \rho) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J R_{m,j_m} \quad (35-3)$$

توانی که برای انتقال اطلاعات در کل این سیستم مصرف می‌شود برابر است با مجموع توانی که توسط هر ایستگاه پایه مصرف شده:

$$U_{TP}(P, \rho, \alpha) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \rho_{m,j_m}^n P_{m,j_m}^n \quad (36-3)$$

3-4-1- برداشت انرژی در یک سیستم چند سلولی

در اینجا رله علاوه بر سیگنال ارسالی توسط ایستگاه پایه سلول خود از سلول‌های مجاور نیز انرژی دریافت می‌کند بنابراین نسبت به حالت تک سلولی رله منابع انرژی بیشتری برای برداشت انرژی در دسترس دارد. انرژی برداشت شده توسط هر رله برابر است با:

$$E_{m,j_m} = \frac{\eta(1 - \alpha_{m,j_m})}{2} \left(\sum_{n=1}^N \rho_{m,j_m}^n P_{m,j_m}^n |g_{m,j_m}^n|^2 + I_{m,j_m}^n \right) \quad \forall m \in M \quad \forall j_m \in J \quad (37-3)$$

بنابراین حداکثر توانی که هر رله برای ارسال اطلاعات خود در دسترس دارد برابر است با:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{u=1}^U p_{m,j_m,u}^n \leq \frac{2E_{m,j_m}}{T} = \eta(1 - \alpha_{m,j_m}) \left(\sum_{n=1}^N \rho_{m,j_m}^n p_{m,j_m}^n |g_{m,j_m}^n|^2 + I_{m,j_m}^n \right) \quad \forall m \in M \quad \forall j_m \in J \quad (38-3)$$

۳-۴-۲-مساله بهینه‌سازی در یک سیستم چند سلولی

هدف ما در این بخش تخصیص منابع به گونه‌ای است که بهره‌وری انرژی ماکزیمم شود بنابراین مساله بهینه‌سازی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\max_{P,\alpha,\rho} \frac{U(P,\alpha,\rho)}{U_{Tp}(P,\alpha,\rho)} \quad (39-3)$$

$$s.t : \sum_{j_m=1}^J \sum_{n=1}^N p_{m,j_m}^n \leq P_{\max} \quad \forall m \in M \quad (39-3)$$

$$\sum_{n=1}^N \rho_{m,j_m}^n p_{m,j_m}^n \geq P_{\min} \quad \forall m \in M \quad \forall j \in J_m \quad (39-3)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{u=1}^U p_{m,j_m,u}^n \leq \eta(1 - \alpha_{m,j_m}) \left(\sum_{n=1}^N \rho_{m,j_m}^n p_{m,j_m}^n |g_{m,j_m}^n|^2 + I_{m,j_m}^n \right) \quad \forall m \in M \quad \forall j_m \in J \quad (39-3)$$

$$|h_{m,j_m,i}^n|^2 \left(E \left[|w_{m,j_m,u}^n|^2 \right] + I(P,\rho) \right) - |h_{m,j_m,u}^n|^2 \left(E \left[|w_{m,j_m,i}^n|^2 \right] + I(P,\rho) \right) \geq 0 \quad (39-3)$$

$$\forall n \in N \quad \forall m \in M \quad \forall j_m \in J \quad i, u \in U, |h_{m,j_m,i}^n|^2 \geq |h_{m,j_m,u}^n|^2$$

$$\rho_{m,j_m}^n \in \{0,1\} \quad \forall m \in M \quad \forall j_m \in J \quad \forall n \in N \quad (39-3)$$

$$0 \leq \alpha_{m,j_m} \leq 1 \quad \forall m \in M \quad \forall j_m \in J \quad (39-3)$$

$$\sum_m \sum_{n_g \in N_g} \sum_{n=1}^N R_{m,j_m,n_g}^n \geq R^{rsv} \quad \forall g \in \varphi \quad (3-39)$$

$$0 \leq p_{m,j_m}^n \leq p_{m,j_m}^{n,mask}, 0 \leq p_{m,j_m,u}^n \leq p_{m,j_m,u}^{n,mask} \quad (3-39)$$

شرطها مانند حالت تک سلولی تعریف می‌شوند تنها تفاوت شرطها (3-39) و (3-39) است. شرط (3-39) نرخ هر گروه کاربر را مشخص می‌کند که باید از R^{rsv} مشخصی کمتر باشد. در ادامه با استفاده از الگوریتم‌های تکرار شونده و روش تقریب DC به ساده سازی و حل مسائل مطرح شده می‌پردازیم.

5-3- حل مساله

پیچیده شدن مسائل مخابراتی باعث شده‌اند که با روش‌های معمول قابل حل نباشند، بنابراین به دنبال روش‌های برای تبدیل مساله، به یک مساله محدب یکی از چالش‌های پیش‌رو می‌باشد. یکی از مشکلاتی که برای حل این مسائل با آن روبه‌رو هستیم مساله مشخص کردن ضریب برداشت انرژی α می‌باشد. برای مشخص کردن آن در مساله‌های (3-10) و (3-25) از روش عددی استفاده می‌کنیم به این صورت که به ازای تمام مقادیر $\alpha \in [0,1]$ با یک گام کوچک مساله را حل می‌کنیم و مقدار بهینه تابع هدف را محاسبه می‌کنیم، در آخر α که بتواند تابع هدف را ماکزیمم کند به عنوان α بهینه انتخاب می‌شود. برای حل مساله به ازای یک α مشخص مسائل بهینه سازی به دلیل کسری بودن، و غیرمحدب بودن توابع نرخ در تابع هدف و شرطها و همچنین وجود متغیرهای پیوسته و گسسته غیر محدب می‌باشند. که برای حل آن ابتدا توابع غیر محدب نرخ را با استفاده از تقریب DC به صورت توابعی محدب تقریب می‌زنیم سپس با استفاده از برنامه‌ریزی کسری تابع هدف را از حالت کسری خارج کرده و به صورت تفاضلی می‌نویسیم، سپس از یک الگوریتم تکرار شونده برای حل مساله تخصیص توان و تخصیص زیرحامل استفاده می‌کنیم. برای حل مساله (3-39) به ازای α نیز مساله بهینه سازی را حل می‌کنیم.

۳-۵-۱- انتقال تابع هدف از فرم کسری به فرم تفاضلی

با تقریب زدن تابع $U(P, \rho, \alpha)$ به یک تابع مقعر با استفاده از تقریب DC و $U_{TP}(P, \rho, \alpha)$ به یک تابع محدب می‌توانیم از قضیه (۲-۱۰) برای حل مساله کسری استفاده کرد.

q^* را به عنوان ماکزیمم بهره انرژی سیستم که به صورت زیر است تعریف می‌کنیم:

$$q^* = \frac{U(P^*, \rho^*, \alpha)}{U_{TP}(P^*, \rho^*, \alpha)} = \max_{P, \rho, \alpha} \frac{U(P, \rho, \alpha)}{U_{TP}(P, \rho, \alpha)}$$

که P^* ، ρ^* به ترتیب نشان‌دهنده تخصیص توان و زیرحامل بهینه است. به مقدار ماکزیمم بهره انرژی q^* می‌رسیم اگر و تنها اگر

$$\max_{P, \rho} U(P, \rho, \alpha) - q^* U_{TP}(P, \rho, \alpha) = U(P^*, \rho^*, \alpha) - q^* U_{TP}(P^*, \rho^*, \alpha) = 0$$

برای هر $U(P, \rho, \alpha) \geq 0$ و $U_{TP}(P, \rho, \alpha) > 0$.

با استفاده از این تقریب و به ازای یک α مشخص مساله ماکزیمم بهره‌وری انرژی به صورت زیر نوشته می‌شود

$$\max_{P, \rho} U(P, \rho, \alpha) - q U_{TP}(P, \rho, \alpha)$$

که یک مساله محدب می‌باشد و از الگوریتم تکراری زیر برای حل آن استفاده می‌کنیم.

الگوریتم ۳-۱ تخصیص منابع
<p>۱. مقدار دهی اولیه</p> <p>الف) مقادیر ε و L_{mac} را مشخص کن</p> <p>ب) قرار بده تعداد تکرار $m = 0$ و $q[0] = 0$</p>

۲. تکرار.

۳. به ازای $q[m]$ مسئله بهره‌وری انرژی را حل کن و مقادیر توان و زیر حامل بهینه $\{P', \rho'\}$ را بدست بیاور.

$$\text{الف) اگر } U(P', \rho') - q[m]U_{TP}(P', \rho') \leq \varepsilon$$

$$\text{آنگاه } q^* = q[m] \text{ و } \{P^*, \rho^*\} = \{P', \rho'\}$$

ب) در غیر اینصورت

$$m = m + 1 \text{ و } q[m + 1] = \frac{U(P', \rho')}{U_{TP}(P', \rho')} \text{ و برو به ۲}$$

۴. تا زمانی که همگرایی برقرار نشده یا $m = L_{\max}$ نشده حلقه را تکرار کن.

به ازای یک q اولیه و یک α مشخص شروع می‌کنیم و مقادیر بهینه زیرحامل و توان را به دست می‌آوریم، اگر مقادیر توان و زیرحامل به دست آمده در شرط همگرایی صدق کنند مقادیر توان و زیرحامل را به عنوان مقادیر بهینه در نظر می‌گیریم، در غیر این صورت مقدار q به روز رسانی می‌شود و دوباره مساله را به ازای q جدید حل می‌کنیم، این روند تا همگرا شدن ادامه می‌یابد، پس از بدست آوردن مقادیر بهینه توان و زیرحامل و پیدا کردن q بهینه، به ازای مقادیر متفاوت α دوباره مساله را حل می‌کنیم و در آخر از مقادیر به دست آمده، α که بتواند بیشترین مقدار q را بدهد به عنوان جواب بهینه در نظر می‌گیریم.

۳-۵-۲- حل مساله تخصیص توان و تخصیص زیرحامل

برای حل مساله تخصیص زیر حامل و توان از یک الگوریتم تکرار شونده استفاده می‌کنیم، به این صورت که تخصیص توان و زیر حامل را به صورت جدا از هم انجام می‌دهیم.

الگوریتم ۲-۳ تخصیص توان و زیر حامل

۱. قرار بده $t=0$

۲. تکرار کن

۳. به ازای یک مقدار مشخص $P[0]$ شروع کن

۴. به ازای مقدار مشخص $P[t-1]$ مقدار $\rho[t]$ را محاسبه کن

۵. به ازای $\rho[t]$ به دست آمده مقدار $P[t]$ را بدست بیار

۶. $t=t+1$ کن و برو به ۲

۷. تا وقتی که P, ρ همگرا شوند

به ازای یک تخصیص توان اولیه $P[0]$ شروع می‌کنیم و مساله تخصیص زیر حامل را حل می‌کنیم، سپس با استفاده از زیرحامل بدست آمده مساله تخصیص توان را حل می‌کنیم و توان را به دست می‌آوریم، این روند را تا همگرا شدن توان و زیرحامل انجام می‌دهیم.

۳-۵-۳ حل مساله تک‌سلولی

۳-۵-۳-۱ حل مساله تخصیص زیر حامل

به ازای یک تخصیص توان و ضریب برداشت انرژی مشخص مساله (۳-۲۵) برای تخصیص زیر حامل به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\max_{\rho} \frac{U(P, \alpha, \rho)}{U_{Tp}(P, \alpha, \rho)}$$

s.t: (و) (۲۵-۳) و (د) (۲۵-۳) و (ج) (۲۵-۳) و (ب) (۲۵-۳)

برای حل مساله تخصیص زیرحامل ابتدا با استفاده از قضیه (۲-۱۰) تابع هدف را از حالت کسری خارج می‌کنیم. پس از استفاده از این تقریب با توجه به وجود متغیر بهینه سازی باینری ρ به یک مساله بهینه سازی خطی دودویی BIP برمی‌خوریم که برای حل آن در این پایان نامه از نرم افزار Mosek استفاده کردیم.

۳-۵-۳-۲- حل مساله تخصیص توان

به ازای یک تخصیص زیرحامل و ضریب برداشت انرژی مشخص مساله تخصیص توان به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\max_P \frac{U(P, \alpha, \rho)}{U_{Tp}(P, \alpha, \rho)}$$

s.t: (ب) (۲۵-۳) و (ج) (۲۵-۳) و (د) (۲۵-۳)

به دلیل وجود تداخل در بازه دوم ارسال، یک مساله بهینه سازی غیرمحدب می‌باشد و نمی‌توان از قضیه (۲-۱) استفاده کرد به این منظور ابتدا از تقریب DC به صورت زیر استفاده می‌کنیم.

تقریب DC:

برای بازه دوم ارسال داریم:

$$R_{j,u}^n = \rho_j^n \log \left(1 + \frac{p_{j,u}^n |h_{j,u}^n|^2}{E[|w_{j,u}^n|^2] + I_{j,u}^n(P)} \right)$$

$$R_{j,u}^n = \rho_j^n \left(\underbrace{\log \left(E[|w_{j,u}^n|^2] + |h_{j,u}^n|^2 \sum_{u'=1}^u p_{j,u'}^n \right)}_f - \underbrace{\log \left(E[|w_{j,u}^n|^2] + I_{j,u}^n(P) \right)}_g \right)$$

$$\tilde{R}_{j,u}^n \approx \rho_j^n (f(P) - g(P[t_p - 1])) - \nabla \bar{G}^T \bar{P} \quad (40-3)$$

که در آن $\nabla \bar{G}(P)$ برداری است به طول $u-1$ که درایه‌های آن با مشتق‌گیری از g نسبت به $p_{j,u}^n$ به دست می‌آید:

$$\nabla \bar{G}(P) = \frac{\partial g}{\partial p_{j,u}^n} = \begin{cases} 0 & u' \geq u \\ \frac{|h_{j,u}^n|^2}{E[|w_{j,u}^n|^2] + I_{j,u}^n(P[t_p - 1])} & \forall u' = 1, \dots, u-1 \end{cases}$$

و بردار \bar{P} به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} p_{j,1}^n - p_{j,1}^n [t_p - 1] \\ \vdots \\ p_{j,(u-1)}^n - p_{j,(u-1)}^n [t_p - 1] \end{bmatrix}_{(u-1) \times 1}$$

با استفاده از تقریب DC و قضیه (۱-۲) مساله بهینه‌سازی غیرمحدب، تبدیل به یک مساله محدب می‌شود که برای حل آن از نرم افزار CVX استفاده شده است.

۳-۵-۴- حل مساله چند سلولی

برای حل مساله (۳-۳۹) با توجه به اینکه برای ضریب برداشت انرژی باید مساله بهینه سازی حل شود، در الگوریتم (۲-۳) یک گام اضافی نیز باید طی کنیم. بنابراین برای حل مساله با در نظر گرفتن ضریب برداشت انرژی و تخصیص توان و زیرحامل الگوریتم (۲-۳) به صورت زیر نوشته می شود:

الگوریتم ۳-۵-۴ تخصیص توان و زیرحامل و ضریب برداشت انرژی

۱. قرار بده $t=0$

۲. تکرار کن

۳. به ازای یک مقدار مشخص $P[0]$ و $\alpha[0]$ شروع کن

۴. به ازای مقادیر مشخص $P[t-1]$ و $\alpha[t-1]$ مقدار $\rho[t]$ را محاسبه کن

۵. به ازای $\rho[t]$ به دست آمده و مقدار $\alpha[t-1]$ ثابت مقدار $P[t]$ را بدست بیار

۶. به ازای $\rho[t]$ و $P[t]$ به دست آمده مقدار $\alpha[t]$ را محاسبه کن

۷. $t=t+1$ کن و برو به ۲

۸. تا وقتی که P, ρ, α همگرا شوند

به ازای یک تخصیص توان و ضریب برداشت انرژی مشخص شروع می کنیم و مساله تخصیص زیرحامل را حل می کنیم سپس با استفاده از زیرحامل به دست آمده و ضریب برداشت انرژی ثابت مساله تخصیص توان را حل می کنیم و در آخر با استفاده از توان و زیرحامل به دست آمده مساله تخصیص ضریب برداشت انرژی را حل کرده، این روند را تا همگرا شدن P, ρ, α تکرار می کنیم.

برای حل مساله (۳-۳۹)، به دلیل وجود ضریب تخصیص زیرحامل داخل لگاریتم و وجود تداخل یک مساله غیرمحدب^۱ MINLP است. در اینجا برای رفع مشکل گسسته بودن ضریب تخصیص زیرحامل، متغیر ضریب تخصیص زیرحامل را به صورت عددی حقیقی^۲ در فاصله $\rho_{m,j}^u \in (0,1)$ تقریب می‌زنیم، که نشان دهنده مدت زمانی است که زیرحامل به رله و کاربرها اختصاص یافته است. حال برای حل مساله مراحل گفته شده را طی می‌کنیم.

۳-۵-۴-۱- حل مساله تخصیص توان

به ازای یک تخصیص زیرحامل ثابت و ضریب برداشت انرژی مشخص مساله تخصیص توان به صورت زیر می‌باشد:

$$\max_P \frac{U(P, \alpha, \rho)}{U_{Tp}(P, \alpha, \rho)}$$

$$s.t : (3-39 \text{ ذ}) \text{ و } (3-39 \text{ و}) \text{ و } (3-39 \text{ ر}) \text{ و } (3-39 \text{ د}) \text{ و } (3-39 \text{ ج}) \text{ و } (3-39 \text{ ب})$$

که به دلیل وجود تداخل از سلول مجاور و تداخل ناشی از NOMA یک مسئله غیر محدب است، ابتدا با استفاده از تقریب DC، تابع نرخ از BS به رله را به صورت زیر تقریب می‌زنیم:

$$R_{m,j_m}^n = \underbrace{\log \left(\rho_{m,j_m}^n \alpha_{m,j_m} P_{m,j_m}^n |g_{m,j_m}^n|^2 + E \left[|w_{m,j_m}^n|^2 \right] + I_{m,j_m}^n(P, \rho, \alpha) \right)}_{f(P)} - \underbrace{\log \left(E \left[|w_{m,j_m}^n|^2 \right] + I_{m,j_m}^n(P, \rho, \alpha) \right)}_{g(P)}$$

¹ Mixed Integer Non Linear Programming

² Relaxation

$$\tilde{R}_{m,j_m}^n \approx f - g(P[t_p - 1]) - \sum_{m' \neq m} \nabla \bar{G}_{m'} \bar{P}_{m'} \quad (41-3)$$

که در آن $\nabla \bar{G}_{m'}$ و بردارهایی به طول J می باشند و به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$\nabla \bar{G}_{m'} = \frac{\partial g}{\partial P_{m',j_m}^n} = \begin{cases} 0 & m' = m \\ \frac{\alpha_{m,j_m} \rho_{m',j_m}^n |g_{m',j_m}^n|^2}{E[|w_{m,j_m}^n|^2] + I_{m,j_m}^n(P[t_p - 1], \rho, \alpha)} & \forall m' \neq m, \forall j_m' \in \{1, \dots, J\} \end{cases}$$

$$\bar{P}_{m'} = \begin{bmatrix} P_{m',1}^n - P_{m',1}^n [t_p - 1] \\ \vdots \\ P_{m',J_{m'}}^n - P_{m',J_{m'}}^n [t_p - 1] \end{bmatrix}_{J \times 1}$$

به همین ترتیب برای نرخ هر کاربر داریم :

$$R_{m,j,u}^n = \underbrace{\log \left(E[|w_{m,j_m,u}^n|^2] + |h_{m,j_m,u}^n|^2 \rho_{m,j_m}^n \left(\sum_{u'=1}^u P_{m,j_m,u'}^n \right) + I_{m,j_m,u}^n(P, \rho) \right)}_f - \underbrace{\log \left(E[|w_{m,j_m,u}^n|^2] + |h_{m,j_m,u}^n|^2 \rho_{m,j}^n \left(\sum_{u'=1}^{u-1} P_{m,j_m,u'}^n \right) + I_{m,j_m,u}^n(P, \rho) \right)}_g$$

با استفاده از تقریب DC داریم:

$$\tilde{R}_{m,j,u}^n \approx f - g(P[t_p - 1]) - \nabla \bar{G}^{NOMA} \bar{P}^{NOMA} - \sum_{m' \neq m} \sum_{j_{m'}=1}^J \nabla \bar{G}_{m',j_{m'}}^I \bar{P}_{m',j_{m'}}^I \quad (42-3)$$

که در آن $\nabla \bar{G}_{m',j_{m'}}^I$ و بردارهایی به طول $u-1$ و U می باشند که به ترتیب ناشی از تداخل

NOMA، و تداخل از سلول مجاور می باشند و به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$\nabla \bar{G}^{NOMA} = \frac{\partial g}{\partial p_{m',j_m',u'}} = \begin{cases} 0 & u' \geq u \\ \frac{\rho_{m',j_m'}^n |h_{m',j_m',u}^n|^2}{E[|w_{m',j_m',u}^n|^2] + I_{m',j_m',u}^n(P[t_p - 1], \rho)} & u' = 1, \dots, u-1 \end{cases}$$

$$\bar{P}^{NOMA} = \begin{bmatrix} p_{m',j_m',1}^n - p_{m',j_m',1}^n [t_p - 1] \\ \vdots \\ p_{m',j_m',u-1}^n - p_{m',j_m',u-1}^n [t_p - 1] \end{bmatrix}_{(u-1) \times 1}$$

و برای $\nabla \bar{G}_{m',j_m'}^I$ داریم:

$$\nabla \bar{G}_{m',j_m'}^I = \frac{\partial g}{\partial p_{m',j_m',u'}} = \begin{cases} 0 & m' = m \\ \frac{\rho_{m',j_m'}^n |h_{m',j_m',u}^n|^2}{E[|w_{m',j_m',u}^n|^2] + I_{m',j_m',u}^n(P[t_p - 1], \rho)} & \forall m' \neq m, j_{m'} \in \{1, \dots, J\} \end{cases}$$

$$\bar{P}_{m',j_m'}^I = \begin{bmatrix} p_{m',j_m',1}^n - p_{m',j_m',1}^n [t_p - 1] \\ \vdots \\ p_{m',j_m',U}^n - p_{m',j_m',U}^n [t_p - 1] \end{bmatrix}_{U \times 1}$$

با استفاده از توابع نرخ تقریب زده شده و استفاده از قضیه (۲-۱) مساله (۳-۳۹) تبدیل به یک مساله

محدب می شود که برای حل آن از نرم افزار CVX استفاده می کنیم.

۳-۵-۴-۲- حل مساله تخصیص زیر حامل

به ازای یک تخصیص توان ثابت و به ازای ضریب برداشت انرژی مشخص مساله تخصیص زیر حامل

به صورت زیر می باشد:

$$\max_{\rho} \frac{U(P, \rho, \alpha)}{U_{Tp}(P, \rho, \alpha)}$$

s.t: (۳-۳۹) و (۳-۳۹) و (۳-۳۹) و (۳-۳۹) و (۳-۳۹)

$$\rho_{m,j_m}^n \in (0,1) \quad \forall m \in M \quad \forall j_m \in J \quad \forall n \in N$$

برای حل مساله تخصیص زیرحامل با وجود آزادسازی، باز هم مساله بهینه سازی به دلیل تداخل از سلول‌های مجاور یک مساله غیرمحدب است که برای حل آن مانند مساله تخصیص توان از تقریب DC استفاده می‌کنیم. برای بازه‌ی اول ارسال داشتیم:

$$R_{m,j_m}^n = \underbrace{\log \left(E \left[|w_{m,j_m}^n|^2 \right] + \sum_{\substack{m'=1 \\ m' \neq m}} \sum_{j_{m'}} \alpha_{m,j_m} \rho_{m',j_{m'}}^n p_{m',j_{m'}}^n |g_{m',j_m}^n|^2 + \alpha_{m,j_m} \rho_{m,j_m}^n p_{m,j_m}^n |g_{m,j_m}^n|^2 \right)}_f - \underbrace{\log \left(E \left[|w_{m,j_m}^n|^2 \right] + \sum_{\substack{m'=1 \\ m' \neq m}} \sum_{j_{m'}} \alpha_{m,j_m} \rho_{m',j_{m'}}^n p_{m',j_{m'}}^n |g_{m',j_m}^n|^2 \right)}_g$$

با استفاده از تقریب DC به دست می‌آید:

$$\tilde{R}_{m,j_m}^n \approx f - g(\rho[t_p - 1]) - \sum_{m' \neq m} \nabla \bar{G}_{m'} \bar{\rho}_{m'} \quad (44-3)$$

که $\nabla G_{m'}$ برداری به طول J می‌باشد و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\nabla \bar{G}_{m'} = \frac{\partial g}{\partial \rho_{m',j_{m'}}} = \begin{cases} 0 & m' = m \\ \frac{p_{m',j_{m'}}^n |g_{m',j_m}^n|^2}{E \left[|w_{m,j_m}^n|^2 \right] + I_{m,j_m}^n (P, \rho[t_p - 1], \alpha)} & m' \neq m \end{cases}$$

$$\bar{\rho}_{m'} = \begin{bmatrix} \rho_{m',1}^n - \rho_{m',1}^n [t_p - 1] \\ \vdots \\ \rho_{m',j_{m'}}^n - \rho_{m',j_{m'}}^n [t_p - 1] \end{bmatrix}_{J \times 1}$$

به همین ترتیب برای بازه‌ی دوم ارسال داشتیم:

$$R_{m,j,u}^n = \underbrace{\log \left(E \left[|w_{m,j_m,u}^n|^2 \right] + |h_{m,j_m,u}^n|^2 \rho_{m,j_m}^n \left(\sum_{u=1}^u P_{m,j_m,u}^n \right) + I_{m,j_m,u}^n (P, \rho[t_p - 1]) \right)}_f - \underbrace{\log \left(E \left[|w_{m,j_m,u}^n|^2 \right] + |h_{m,j_m,u}^n|^2 \rho_{m,j_m}^n \left(\sum_{u=1}^{u-1} P_{m,j_m,u}^n [t_p - 1] \right) + I_{m,j_m,u}^n (P, \rho[t_p - 1]) \right)}_g$$

که به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$\tilde{R}_{m,j_m,u}^n = f - g(\rho[t_p - 1]) - \frac{|h_{m,j_m,u}^n|^2 \left(\sum_{u=1}^{u-1} P_{m,j_m,u}^n \right)}{E \left[|w_{m,j_m}^n|^2 \right] + I_{m,j_m,u}^n (P, \rho[t_p - 1])} (\rho_{m,j_m}^n - \rho_{m,j_m}^n [t_p - 1]) - \sum_{m' \neq m} \nabla \bar{G}_{m'} \bar{\rho}_{m'} \quad (45-3)$$

در اینجا هم $\nabla \bar{G}_{m'}$ برداری به طول J می‌باشد و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\nabla G_{m'}^I = \frac{\partial g}{\partial \rho_{m',j_m}^n} = \begin{cases} 0 & m' = m \\ \frac{|h_{m',j_m,u}^n|^2 \left(\sum_{u=1}^u P_{m',j_m,u}^n \right)}{E \left[|w_{m',j_m}^n|^2 \right] + I_{m',j_m,u}^n (P, \rho[t_p - 1])} & m' \neq m, \forall j_m \in \{1, \dots, J\} \end{cases}$$

$$\bar{\rho}_{m'}^I = \begin{bmatrix} \rho_{m',1}^n - \rho_{m',1}^n [t_p - 1] \\ \vdots \\ \rho_{m',J_m}^n - \rho_{m',J_m}^n [t_p - 1] \end{bmatrix}_{J \times 1}$$

با استفاده از تقریب‌های زده شده و قضیه (۲-۱) مساله تخصیص زیرحامل تبدیل به یک مساله محدب

می‌شود، که برای حل آن مانند مساله قبل از نرم افزار CVX استفاده می‌کنیم.

۳-۵-۴-۳- حل مساله تخصیص ضریب برداشت انرژی

به ازای تخصیص توان و زیرحامل مشخص مساله تخصیص ضریب برداشت انرژی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\max_{\alpha} \frac{U(P, \rho, \alpha)}{U_{Tp}(P, \rho, \alpha)}$$

$$s.t: (3-39) \text{ و } (3-39)$$

که به دلیل وجود تداخل در بازه‌ی اول ارسال یک مساله بهینه سازی غیر محدب می‌باشد که برای تبدیل آن به یک مساله محدب از تقریب DC استفاده می‌کنیم. تقریب DC مساله تخصیص ضریب برداشت انرژی به صورت زیر به دست می‌آید.

برای بازه اول ارسال داریم:

$$R_{m,j_m}^n = \underbrace{\log \left(E \left[|w_{m,j_m}^n|^2 \right] + \sum_{\substack{m'=1 \\ m' \neq m}} \sum_{j_{m'}} \alpha_{m,j_m} \rho_{m',j_m}^n P_{m',j_{m'}}^n |g_{m',j_m}^n|^2 + \alpha_{m,j_m} \rho_{m,j_m}^n P_{m,j_m}^n |g_{m,j_m}^n|^2 \right)}_f - \underbrace{\log \left(E \left[|w_{m,j_m}^n|^2 \right] + \sum_{\substack{m'=1 \\ m' \neq m}} \sum_{j_{m'}} \alpha_{m,j_m} \rho_{m',j_m}^n P_{m',j_{m'}}^n |g_{m',j_m}^n|^2 \right)}_g$$

$$\tilde{R}_{m,j_m}^n \approx f - g(\alpha[t_p - 1]) - \frac{\sum_{\substack{m'=1 \\ m' \neq m}} \sum_{j_{m'}} \rho_{m',j_m}^n P_{m',j_{m'}}^n |g_{m',j_m}^n|^2}{E \left[|w_{m,j_m}^n|^2 \right] + \sum_{\substack{m'=1 \\ m' \neq m}} \sum_{j_{m'}} \alpha_{m,j_m} \rho_{m',j_m}^n P_{m',j_{m'}}^n |g_{m',j_m}^n|^2} (\alpha_{m,j_m} - \alpha_{m,j_m} [t_p - 1])$$

با تقریب زده شده و با استفاده از قضیه (۲-۱۰) مساله بهینه سازی به ازای ضریب برداشت انرژی تبدیل به یک مساله محدب می شود که برای حل آن از نرم افزار CVX استفاده شده است.

فصل چهارم

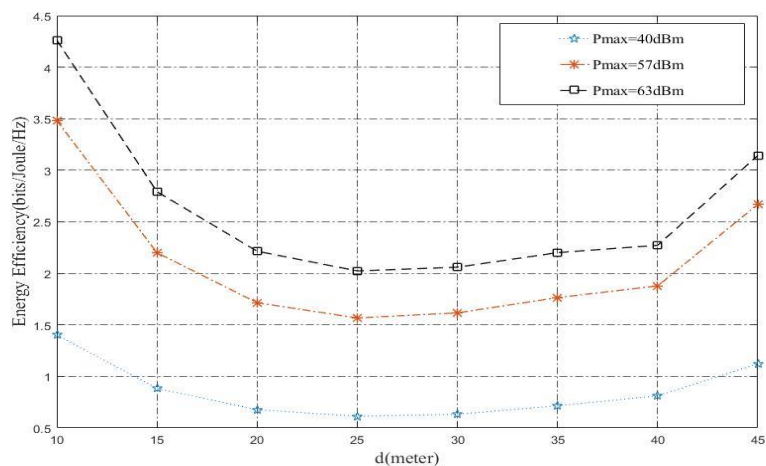
نتایج و شبیه‌سازی

در این فصل به بررسی عملکرد سیستم‌ها به ازای تغییرات پارامترهای مختلف از طریق شبیه سازی پرداخته می‌شود. پارامترهای شبیه‌سازی به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

W_{m,j_m}^n و $W_{m,j_m,u}^n$ به ترتیب نویز سفید گوسی در رله‌ها و کاربرها دارای میانگین صفر و واریانس $\sigma_r^2 = -70dBm$ و $\sigma_u^2 = -100dBm$ [۳۰]، ضریب بهره برداشت انرژی $\eta = 0.8$ [۱۹] و توان مصرفی P_e هر ایستگاه پایه را ۵ وات در نظر گرفتیم. برای ضرایب کانال از ایستگاه پایه به رله و از رله به کاربر به ترتیب رابطه‌ی $|g_{m,j_m}^n|^2 = |x_{m,j_m}^n|^2 (D_0)^{-\psi}$ و $|h_{m,j_m,u}^n|^2 = |y_{m,j_m,u}^n|^2 (d_{m,j_m,u})^{-\psi}$ را در نظر گرفته‌ایم که در آن $\psi = 3$ ضریب افت مسیر کانال، و $|g_{m,j_m}^n|^2$ و $|h_{m,j_m,u}^n|^2$ نشان دهنده متغیرهای تصادفی با توزیع نمایی که بیان‌گر فیدینگ رایلی^۱ است.

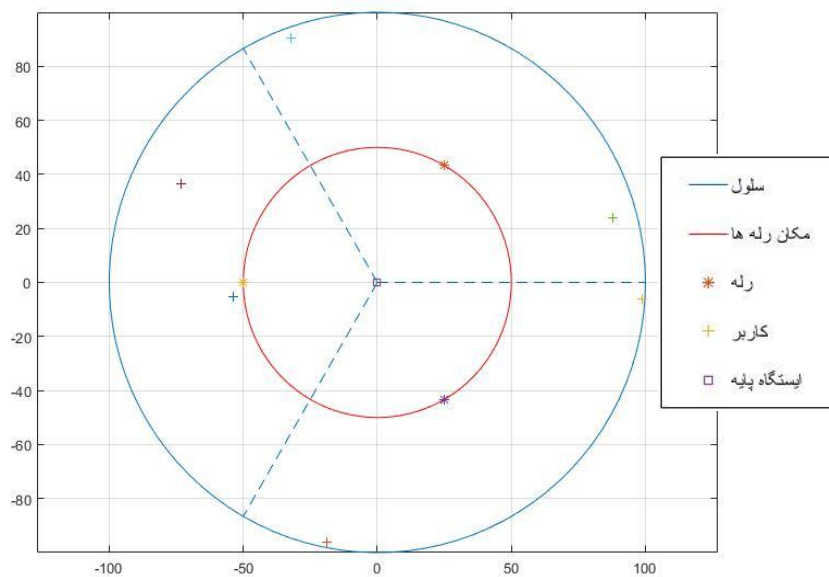
ابتدا برای سیستم مدل یک، فرض کردیم که دو کاربر در فاصله $d_1 = d_2 = (50 - d)m$ از رله قرار گرفته‌اند، که d فاصله ایستگاه پایه تا رله است، تعداد زیرحامل‌ها $N = 16$ ، برای $\psi = 3$ (در نتیجه ماکزیمم افت مسیر بین ایستگاه پایه و رله $51dB$ می‌باشد) و با فرض اینکه مینیمم توان مورد نیاز رله برابر $-25dBm$ است، کمترین توانی که توسط ایستگاه پایه باید ارسال شود برابر با $P_{min} = -25 + 51 = 26dBm$ می‌باشد [۳۱].

^۱ Rayleigh Fading



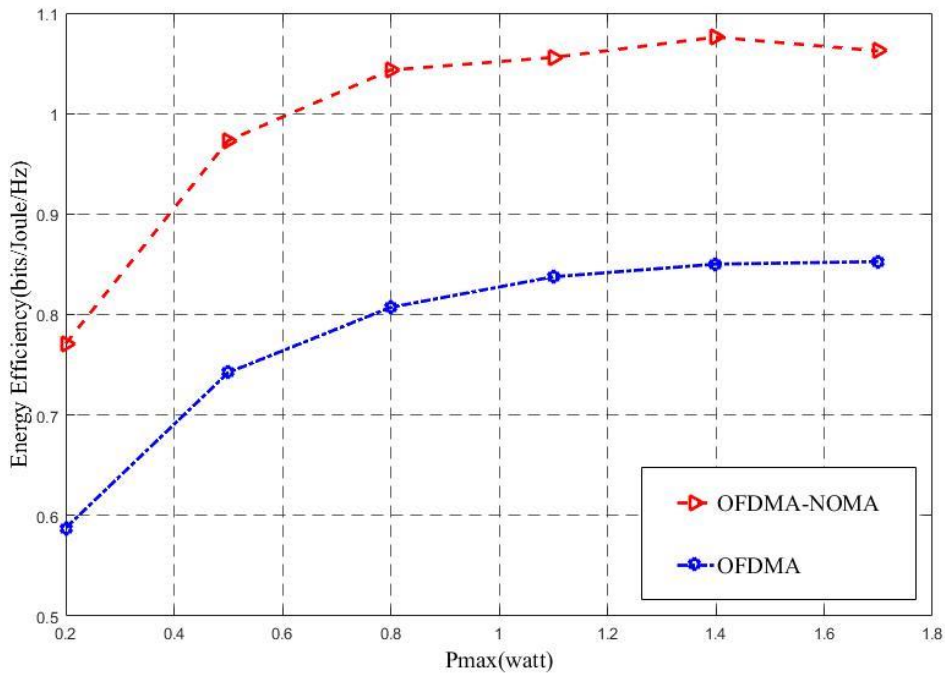
شکل (۴-۱) بهره‌وری انرژی به ازای مقادیر متفاوت d

در شکل (۴-۱) بهره‌وری انرژی به ازای فاصله رله از ایستگاه پایه را بر اساس مساله بهینه سازی (۳-۱۰) رسم کردیم. همان‌طور که مشاهده می‌شود به دلیل کاهش افت مسیر، بیشترین بهره انرژی را در نزدیکی ایستگاه پایه خواهیم داشت که این امر باعث می‌شود در بازه دوم ارسال، رله توان بیشتری برای انتقال اطلاعات خود در دسترس داشته باشد. با افزایش فاصله رله از ایستگاه پایه بهره‌وری انرژی کم می‌شود تا در فاصله ۲۵ متری به کمترین مقدار خود می‌رسد، پس از آن با نزدیک شده رله به کاربرها و کاهش مسیر بین رله و دو کاربر، بهره‌وری انرژی افزایش می‌یابد.



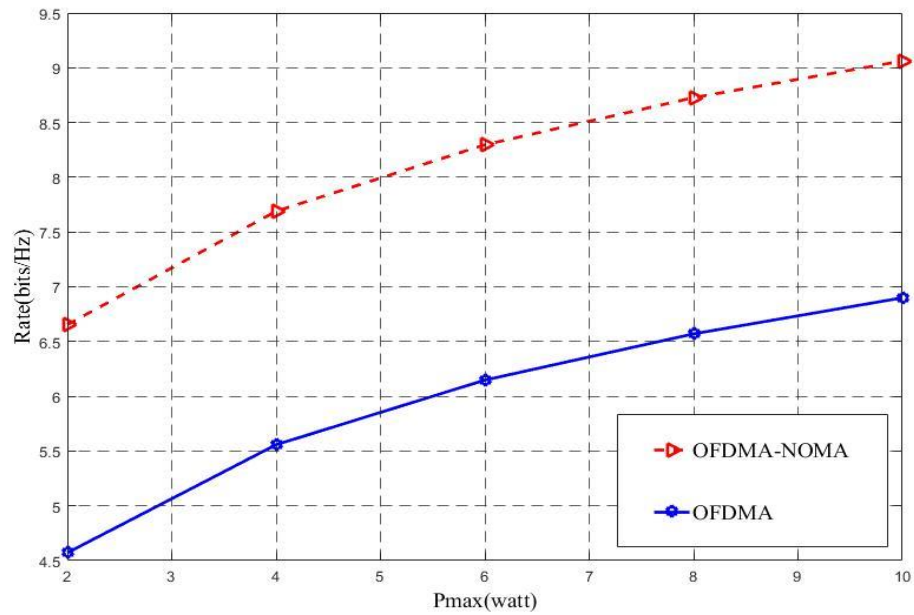
شکل (۲-۴) سیستم مدل تک سلولی

برای حالت تک سلولی، پارامترهای شبیه‌سازی به صورت زیر در نظر گرفتیم، فاصله رله‌ها از ایستگاه پایه $D_0 = 50m$ و تعداد رله‌ها $J = 3$ می‌باشند. که هر رله $U = 2$ کاربر در محدوده ارسال خود دارد. در شکل (۲-۴) نمایی از سیستم در حالت تک سلولی نمایش داده شده است.



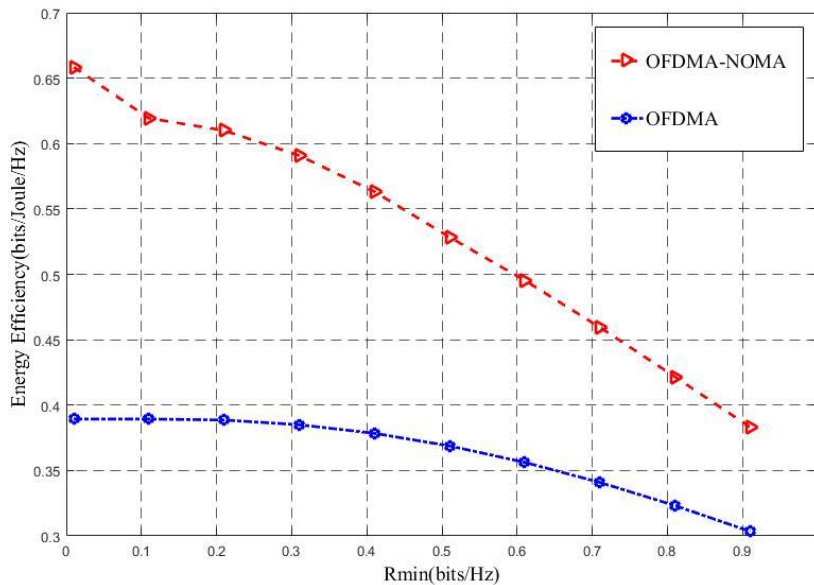
شکل (۳-۴) مقایسه دو حالت OFDMA و OFDMA-NOMA بر حسب ماکزیمم توان مصرفی

در شکل (۳-۴) نمودار بهره‌وری انرژی بر اساس رابطه‌ی (۲۵-۳) برای دو حالت OFDMA و OFDMA-NOMA بر حسب ماکزیمم توان مصرفی ایستگاه پایه رسم شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود از توان ۱,۴ وات به بعد در هر دو حالت، بهره‌وری انرژی تغییری نمی‌کند، به این خاطر که وقتی به ماکزیمم بهره‌وری می‌رسیم ایستگاه پایه دیگر تمایلی برای مصرف انرژی بیشتر ندارد و از یک نقطه‌ای به بعد بهره انرژی ثابت می‌ماند.



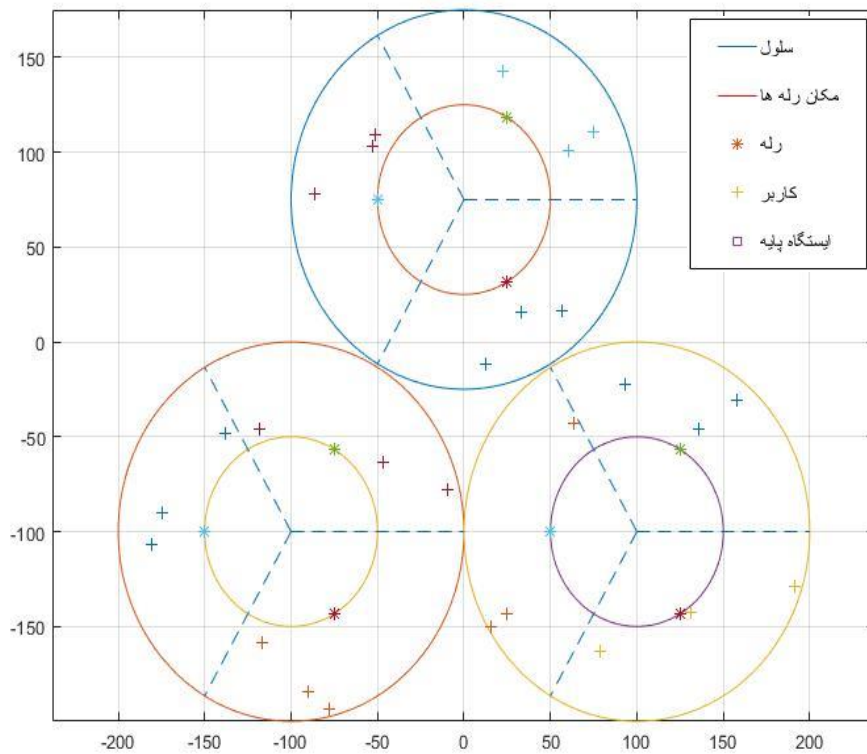
شکل (۴-۴) مقایسه نرخ دریافتی OFDMA و OFDMA-NOMA بر حسب ماکزیمم توان مصرفی

مساله بهینه سازی (۳-۲۵) را برای ماکزیمم کردن نرخ دریافتی حل کرده و نتایج شبیه سازی در شکل (۴-۴) آورده شده است. مشاهده می شود که برای حالت OFDMA-NOMA نرخ دریافتی تقریباً ۳۶٪ بیشتر از OFDMA می باشد.



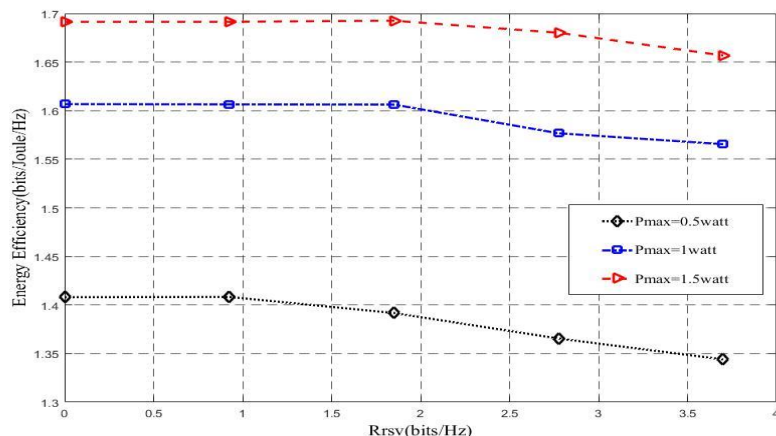
شکل (۴-۵) مقایسه دو حالت OFDMA-NOMA و OFDMA بر حسب مینیمم نرخ دریافتی

در شکل (۴-۵) بهره انرژی به ازای R_{\min} های متفاوت رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌کنید با افزایش R_{\min} بهره انرژی در هر دو حالت کاهش می‌یابد، این کاهش به خاطر وجود کاربران لبه سلول می‌باشد. افزایش R_{\min} منجر به افزایش توان مصرفی روی زیرحامل‌هایی می‌شود که رله و ایستگاه پایه تمایلی به ارسال ندارند. این کاهش بهره‌وری انرژی برای حالت OFDMA-NOMA بیشتر از حالت OFDMA می‌باشد دلیل این امر را می‌توان این‌طور توجیه کرد که در حالت OFDMA هر زیرحامل به یک کاربر اختصاص می‌یابد که در اینجا با وجود شرط نرخ برای کاربران لبه سلول زیرحامل‌ها به این کاربرها اختصاص می‌یابد ولی در حالت OFDMA-NOMA علاوه بر کاربران لبه سلول کاربران دیگر هم می‌توانند ارسال کنند. به همین دلیل با افزایش مینیمم نرخ دریافتی کاربران لبه سلول، نرخ کاربران دیگر که شرایط بهتری دارند کم می‌شود و بهره‌وری انرژی با سرعت بیش‌تری کاهش می‌یابد.



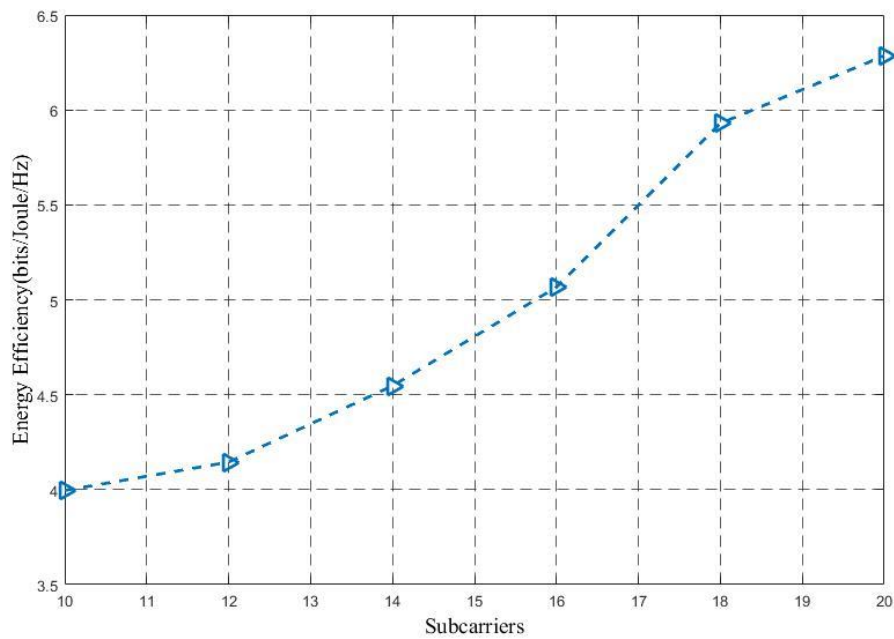
شکل (۴-۶) سیستم مدل چند سلولی

در شکل (۴-۶) مثال عددی سیستم چند سلولی مشاهده می‌شود. شعاع هر سلول را صد متر در نظر می‌گیریم و فرض می‌کنیم که هر سلول سه رله به فاصله پنجاه متر از ایستگاه پایه در ناحیه تحت پوشش خود دارد و هر رله تعداد U کاربر را پوشش می‌دهد.



شکل (۷-۴) بهره‌وری انرژی بر اساس تغییرات R^{rsv}

در شکل (۷-۴) که بر اساس رابطه‌ی (۳-۳۹) رسم شده برای بهتر دیده شدن اثر R^{rsv} روی بهره‌وری انرژی فرض می‌کنیم $P_{min} = 0$ باشد. همچنین کاربرهایی که در لبه سلول قرار دارند را در یک گروه قرار می‌دهیم و با فرض اینکه مجموع نرخ آنها از R^{rsv} بیش‌تر باشد سیستم را شبیه‌سازی می‌کنیم. با توجه به شکل رسم شده مشاهده می‌شود که بهره‌وری انرژی به ازای $R^{rsv} = 1$ برای توان ۰.۵ وات و برای $R^{rsv} = 2$ به ازای توان یک وات بهره‌وری انرژی شروع به کم شدن می‌کند. همچنین افزایش ماکزیمم توان مصرفی ایستگاه پایه باعث بهبود بهره‌وری انرژی سیستم می‌شود.



شکل (۸-۴) بهره‌وری انرژی بر اساس تغییرات زیرحامل

شکل (۸-۴) بهره‌وری انرژی را در حالت چند سلولی به ازای افزایش تعداد زیرحامل‌ها بیان می‌کند. با افزایش تعداد زیرحامل‌ها، بهره‌وری انرژی افزایش می‌یابد. اما این افزایش به ازای اضافه شدن برخی زیرحامل‌ها بیشتر می‌باشد چون ممکن است زیرحامل‌های بهتری برای ارسال در دسترس ایستگاه پایه قرار بگیرد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت تکنیک دسترسی چندگانه غیر متعامد برای نسل پنجم، تخصیص منابع در یک شبکه سلولی مشارکتی مورد بررسی قرار گرفته است. رله از تکنیک OFDMA-NOMA برای ارسال اطلاعات خود استفاده می‌کند. همچنین، با توجه به محدود بودن طول باتری و نیاز داشتن به شارژ، رله با قابلیت برداشت انرژی از سیگنال دریافتی در نظر گرفتیم.

در این راستا به منظور بررسی سیستم چند سلولی با قابلیت برداشت انرژی، از یک سیستم مدل ساده استفاده می‌کنیم، سپس آن را توسعه می‌دهیم و در حالت تک سلولی و چند سلولی به منظور بهینه کردن بهره‌وری انرژی مورد بررسی قرار داده‌ایم. از چالش‌های حل مساله، موضوع تخصیص منابع و تخصیص ضریب برداشت انرژی می‌باشد که در سیستم مدل اول و دوم برای مشخص کردن ضریب تخصیص انرژی از روش‌های جستجوی عددی استفاده کردیم ولی در مساله سوم با توجه به اینکه برای هر رله یک ضریب تخصیص انرژی در نظر گرفته شده است دیگر از روش جستجو عددی به دلیل پیچیدگی در محاسبات مساله بهینه سازی نمی‌توان استفاده کرد. برای حل مساله تخصیص منابع در مساله چند سلولی به دلیل وجود ضریب تخصیص زیرحامل و توان یک مساله NP-hard می‌باشد. به منظور ساده سازی و تبدیل مساله بهینه سازی به یک مساله ساده و قابل حل، متغیر ضریب تخصیص زیرحامل را به صورت عددی حقیقی در فاصله $\rho_{m,j}'' \in (0,1)$ تقریب زده‌ایم.

در سیستم مدل اول بهره‌وری انرژی را به ازای مکان‌های متفاوت رله رسم کردیم و به این صورت مکانی که در آن رله می‌تواند ماکزیمم بهره انرژی را داشته باشد به دست آوردیم.

سپس در سیستم تک سلولی روش‌های دسترسی چندگانه نامتعامد و متعامد را از نظر عملکردشان مورد بررسی قرار داده‌ایم و همان‌طور که مشاهده شد استفاده از تکنیک NOMA در شبکه‌های سلولی باعث افزایش نرخ دریافتی و همچنین افزایش بهره‌وری انرژی می‌شود.

در حالت چند سلولی بیشتر سعی بر آن شده است که سیستم را از نظر عملکرد مبتنی بر تغییرات پارامترهای مختلف شبکه مورد ارزیابی قرار دهیم.

۵-۲- پیشنهادها

- ۱- استفاده از سیستم‌های چند ورودی چند خروجی MIMO
- ۲- در این تحقیق از تکنیک دسترسی چندگانه غیرمتعامد در حوزه توان استفاده شده است. می‌توان از روش‌های دیگر دسترسی چندگانه غیرمتعامد مانند SCMA استفاده کرد.
- ۳- استفاده از تئوری بازی برای مدل‌سازی سیستم برای حالتی که تعداد کاربرها زیاد باشد
- ۴- جایگزین کردن رله کدگشایی و ارسال (DF) با رله تقویت و ارسال (AF)
- ۵- در این تحقیق فرض بر این بود که کاربرها به رله ثابت متصل هستند می‌توانیم حالتی را در نظر بگیریم که در آن کاربرها بتوانند از میان رله‌ها انتخاب کنند.

منابع

- [1] L. Dai, “Non-Orthogonal Multiple Access for 5G: Solutions, Challenges, Opportunities, and Future Research Trends,” *IEEE Wirel. Commun. Mag.*, no. September, pp. 74–81, 2015.
- [2] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi, “Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access,” in *2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2013, pp. 1–5.
- [3] W. Shin, M. Vaezi, B. Lee, D. J. Love, J. Lee, and H. V. Poor, “Non Orthogonal Multiple Access in Multi-Cell Networks: Theory, Performance, and Practical Challenges,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 10, pp. 176–183, 2017.
- [4] Y. Liu, Z. Ding, M. Elkashlan, and H. V. Poor, “Cooperative Non-orthogonal Multiple Access with Simultaneous Wireless Information and Power Transfer,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 34, no. 4, pp. 938–953, 2016.
- [5] M. Moltafet, N. Mokari, M. R. Javan, and P. Azmi, “Comparison Study between NOMA and SCMA,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, no. 2, pp. 1830–1834, 2018.
- [6] R. N. Clarke, “Expanding mobile wireless capacity: The challenges presented by technology and economics,” *Telecomm. Policy*, vol. 38, no. 8–9, pp. 693–708, 2014.
- [7] S. M. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre, and K. S. Kwak, “Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G Systems: Potentials and Challenges,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 721–742, 2017.
- [8] Y. Ye, Y. Li, D. Wang, and G. Lu, “Power splitting protocol design for the cooperative NOMA with SWIPT,” *IEEE Int. Conf. Commun.*, pp. 1–5, 2017.
- [9] M. Moltafet, P. Azmi, N. Mokari, M. R. Javan, and A. Mokdad, “Optimal and Fair Energy Efficient Resource Allocation for Energy Harvesting Enabled-PD-NOMA Based HetNets,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, pp. 1–1, 2018.
- [10] S. Zhang, B. Di, L. Song, and Y. Li, “Radio resource allocation for non-orthogonal

- multiple access (NOMA) relay network using matching game,” *2016 IEEE Int. Conf. Commun.*, pp. 1–6, 2016.
- [11] Z. Yang, Z. Ding, Y. Wu, and P. Fan, “Novel relay selection strategies for cooperative NOMA,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, no. 11, pp. 10114–10123, 2017.
- [12] Z. Yang, Z. Ding, P. Fan, and N. Al-Dhahir, “The Impact of Power Allocation on Cooperative Non-orthogonal Multiple Access Networks with SWIPT,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 16, no. 7, pp. 4332–4343, 2017.
- [13] Z. Zhang, Z. Ma, M. Xiao, Z. Ding, and P. Fan, “Full-duplex device-to-device-aided cooperative nonorthogonal multiple access,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, no. 5, pp. 4467–4471, 2017.
- [14] N. Mokari, A. Mokdad, and P. Azmi, “Radio resource allocation for heterogeneous traffic in GFDM-NOMA heterogeneous cellular networks,” *IET Commun.*, vol. 10, no. 12, pp. 1444–1455, 2016.
- [15] Q. Zhang, Z. Liang, Q. Li, and J. Qin, “Buffer-Aided Non-Orthogonal Multiple Access Relaying Systems in Rayleigh Fading Channels,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 65, no. 1, pp. 95–106, 2017.
- [16] H. Zhang, F. Fang, J. Cheng, K. Long, W. Wang, and V. C. M. Leung, “Energy-Efficient Resource Allocation in NOMA Heterogeneous Networks,” *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 48–53, 2018.
- [17] B. Di, L. Song, and Y. Li, “Sub-Channel Assignment, Power Allocation, and User Scheduling for Non-Orthogonal Multiple Access Networks,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 15, no. 11, pp. 7686–7698, 2016.
- [18] Z. Hasan, H. Boostanimehr, and V. K. Bhargava, “Green Cellular Networks: A Survey, Some Research Issues and Challenges,” *Commun. Surv. Tutorials, IEEE*, vol. 13, no. 4, pp. 524–540, 2011.
- [19] D. Wing, K. Ng, E. S. Lo, and R. Schober, “Energy-Efficient Power Allocation in

- OFDM Systems with Wireless Information and Power Transfer,” no. 1, pp. 4125–4130, 2013.
- [20] X. Lu, P. Wang, D. Niyato, D. I. Kim, Z. Han, and C. Engineering, “Wireless Networks with RF Energy Harvesting : A Contemporary Survey,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 17, no. 2, pp. 757–789, 2015.
- [21] S. Jangsher, H. Zhou, V. O. K. Li, and K. C. Leung, “Joint Allocation of Resource Blocks, Power, and Energy-Harvesting Relays in Cellular Networks,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 33, no. 3, pp. 482–495, 2015.
- [22] D. Mishra, S. De, S. Jana, S. Basagni, K. Chowdhury, and W. Heinzelman, “Smart RF energy harvesting communications: Challenges and opportunities,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 4, pp. 70–78, 2015.
- [23] P. Grover and A. Sahai, “Shannon meets tesla: Wireless information and power transfer,” *IEEE Int. Symp. Inf. Theory - Proc.*, pp. 2363–2367, 2010.
- [24] X. Zhou, R. Zhang, and C. K. Ho, “Wireless Information and Power Transfer: Architecture Design and Rate-Energy Tradeoff,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, no. 11, pp. 4754–4767, 2013.
- [25] Y. Gu and S. Aïssa, “RF-Based Energy Harvesting in Decode-and-Forward Relaying Systems: Ergodic and Outage Capacities,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 14, no. 11, pp. 6425–6434, 2015.
- [26] L. Lei, *From Orthogonal to Non-orthogonal Multiple Access: Energy- and Spectrum-Efficient Resource Allocation*. Linköping University Electronic Press, 2016.
- [27] Y. Wu, A. Khisti, Ch. Xiao, “A Survey of Physical Layer Security Techniques for 5G Wireless Networks and Challenges Ahead,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.* vol. 36, no. 4, pp. 679–695, 2018.
- [28] A. Benjebbour, Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Li, A. Harada, and T. Nakamura, “Concept and Practical Considerations of Non-orthogonal Multiple Access

- (NOMA) for Future Radio Access,” in 2013 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, 2013, pp. 770–774.
- [29] T. Wang, L. Vandendorpe, C. De Vleeschouwer (ucl, B.) -Chair, and W. Yu, “Resource allocation in OFDM based communication systems, Ph.D. thesis, Tao Wang.”
- [30] A. A. Nasir, X. Zhou, S. Durrani, and R. A. Kennedy, “Wireless-powered relays in cooperative communications: Time-switching relaying protocols and throughput analysis,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 63, no. 5, pp. 1607–1622, 2015.
- [31] A. A. Nasir, D. T. Ngo, X. Zhou, R. A. Kennedy, and S. Durrani, “Joint Resource Optimization for Multicell Networks with Wireless Energy Harvesting Relays,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 8, pp. 6168–6183, 2016.
- [32] C. Isheden, Z. chong, E. Jorswieck, “Framework for Link-Level Energy Efficiency Optimization with Informed Transmitter,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 11, no. 8, pp. 2946–2957, 2012.

واژه نامه فارسی به انگلیسی

Power Domain NOMA.....	دسترسی غیر عمود در حوزه‌ی دامنه.....
Code Division Multiple Access.....	دسترسی چندگانه تقسیم کد.....
Non-orthogonal Multiple Access	دسترسی چندگانه غیر عمود.....
Frequency Reuse.....	استفاده مجدد از فرکانس.....
Non-Linear Fractional.....	برنامه‌ریزی کسری یخطی.....
Energy Efficiency.....	بهره‌وری انرژی.....
Spectral Efficiency.....	بهره‌وری طیفی.....
DC Approximations.....	تقریب DC.....
Power and subcarrier allocation.....	تخصیص توان و زیرحامل.....
Mixed Integer Non-linear Programing.....	ترکیب برنامه‌ریزی غیرخطی و صحیح.....
Orthogonal Frequency Division Multiple Access.....	تکنیک دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی عمود.....
Interference Cancelation.....	حذف تداخل.....
Rayleigh Fading.....	فیدینگ رایلی.....
Superposition Coding.....	کدینگ برهم نهی.....
Cell Edge.....	لبه سلول.....
Affine.....	نموا خطی.....
Fifth Generation of Cellular Network.....	نسل پنجم مخابرات سلولی.....

Simultaneous Wireless Information and Power transfer.....	انتقال همزمان اطلاعات و انرژی
Energy Harvesting.....	برداشت انرژی
Power Splitting.....	تقسیم توان
Channel State Information	اطلاعات حالت کانال
Decode and Forward Relay.....	رله کدگشایی ارسال
Amplify-and-Forward	رله تقویت و ارسال
Internet of Things	اینترنت اشیاء
Multiple-Input Multiple-Output.....	چند ورودی و چند خروجی
Game theory	تئوری بازی
Divice to Divice.....	دستگاه به دستگاه
Time Switching	تقسیم زمانی
Base Station.....	ایستگاه پایه
Multi cell.....	چند سلولی

Abstract

The increase in wireless network users, resulting in increased network traffic and the demand for high-quality service, have made the fourth generation unable to meet these needs. So we have to look for ways to meet these needs. One of the technique that has recently been very much considered and presented as a candidate for the fifth-generation systems is non-orthogonal multiple access, in which, unlike multiple orthogonal access techniques, more than one user can use resources in which results in increased spectral efficiency and network energy efficiency.

In this paper, we aim at evaluating the energy efficiency of a multicellular system based on a non-orthogonal multiple access technique. First, we consider a simple model system and then consider the energy efficiency problem and develop it for single-cell and multi-cellular states. Allocation of resources in these systems is a non-convex problem that can't not be easily solved with existing tools, so using the approximation methods we turn non-integral optimization into a convex and solvable problem. Finally, by performing simulations, a comparison is made between orthogonal access and non-orthogonal access. Concerning the simulations, we conclude the use of non-orthogonal access methods results in the efficiency of cellular networks relative to the orthogonal access method at the cost of increasing the complexity of the sender and the receiver increases.

Keywords: Non-Orthogonal Multiple Access, multi-cellular, fifth generation



Shahrood University of Technology

Faculty of Electrical and Robotic Engineering

M.Sc. Thesis in Communication Systems Engineering

Resources Allocation in Fifth-generation Networks based on
Non-Orthogonal Multiple Access Technique

by

Esmail Badii

Supervisor

Dr.Mohammad Reza Javan

July 2018