



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

مطالعه‌ی جامع و مقایسه‌ی طرح‌های 5G NOMA

چکیده: در مقایسه با تکنولوژی‌های مرسوم دسترسی چندگانه متعامد (OMA)، تکنولوژی دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA) می‌تواند کارایی طیف بیشتری را به دست آورد و از اتصالات عظیم‌تر پشتیبانی کند. در این مقاله، ما یک مطالعه‌ی جامع بر روی تکنولوژی‌های فعلی NOMA که بسیاری از شرکت‌های اصلی برای نسل پنجم مخابرات سیار (5G) پیشنهاد کرده‌اند، انجام می‌دهیم و آنها را با هم مقایسه می‌کنیم. با توجه به ویژگی‌های طرح‌های NOMA، این طرح‌ها به چهار حوزه‌ی: NOMA مبتنی بر درآمیختن، NOMA مبتنی بر پراکندگی، NOMA مبتنی بر کدگذاری و NOMA مبتنی بر جاگذاری کردن، تقسیم‌بندی می‌شوند. ما به‌طور سیستماتیک نمودار بلوک فرستنده را برای هر حوزه، دسته‌بندی و خلاصه می‌کنیم و اصول اساسی، ویژگی‌های کلیدی و الگوریتم‌های انتقالی-پذیرش، تمام طرح‌های NOMA را مورد بررسی قرار می‌دهیم. علاوه بر این، تحلیل نظری بر مبنای اطلاعات متقابل متوسط و قابل دستیابی سیستم‌های NOMA و ارزش عملکرد بالقوه آنها نسبت به OMA ارایه می‌شود. شبیه‌سازی جامع برای ارزیابی عملکرد بلوک خطا (BLER) در طرح‌های NOMA نیز انجام می‌شود، که با تجزیه و تحلیل نظری همخوانی دارد. با مقایسه عملکرد این فناوری‌ها، برخی از طرح‌ها و قواعد امیدوارکننده، برای آینده‌ی 5G NOMA پیشنهاد می‌شوند.

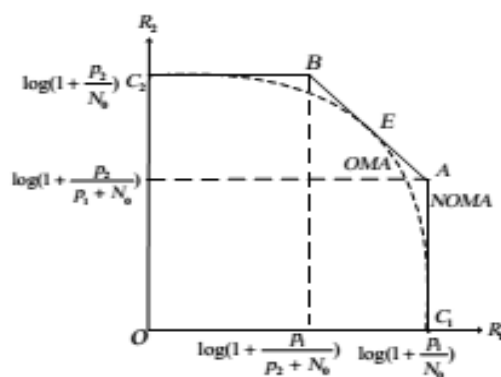
کلمات کلیدی: NOMA، 5G، درآمیختن، پراکندگی، کدگذاری، جاگذاری کردن.

۱- مقدمه

با توسعه سریع اینترنت تلفن همراه (IoT)، تجهیزات کاربری بسیار بیشتر (UES) و نرخ انتقال داده بسیار بالاتر، چالش‌های بزرگی برای شبکه بی‌سیم تلفن همراه ایجاد کرده است. در سال ۲۰۱۴، گروه بین‌المللی مخابرات تلفن همراه (IMT-2020)، دیدگاه و الزامات، ارتباطات بی‌سیم نسل پنجم (5G) را پیشنهاد کردند. هدف از سیستم 5G، پشتیبانی از بازه‌ی طیفی بالاتر (SE) و اتصال بسیار بیشتر است و دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA) یکی از فناوری‌های کلیدی برای برآورده ساختن این نیازها است [۱] - [۴]. سناریوهای پیشرفته‌ی کاربردی 5G

شامل پهنای باند موبایل (eMBB)، ارتباطات نوع گسترده‌ی ماشینی (mMTC) و ارتباطات قابلیت اطمینان و شامل کمبود زمان (URLLC) است. هر سناریو، ویژگی‌ها و الزامات متمایز خود را دارد. مقدار بالای SE (تا ۱۵ بیت در هرتز برای هر باند بالا و ۳۰ بیت در هرتز برای هر باند)، اتصال عظیم (۱ میلیون دستگاه برکیلومتر مربع) و قابلیت اطمینان (10^{-5} نرخ خطای بسته در ۱ مگابیت زمان تاخیر کاربر)، به ترتیب بر روی شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPIs) برای eMBB، mMTC و URLLC مورد بررسی قرار خواهد گرفت [۵]. مطالعه در مورد NOMA در برنامه مشارکت نسل سوم (3GPP) انتشار ۱۴ (Rel-14) از سپتامبر ۲۰۱۴ آغاز شده است و در حال حاضر در بخش مطالعه (SI) در مرحله 3GPP Rel-15 است که تا مه ۲۰۱۸ این فرآیند ادامه دارد. هدف فعلی ارائه ارزیابی در خصوص eMBB، mMTC و URLLC مورد نیاز است و محیط آزمایش برای 5G جدید رادیو (NR)، استانداردسازی می‌گردد. در پایان ماه ژوئن سال ۲۰۱۹، 3GPP Rel-16 نسخه نهایی 5G NR را با توجه به توضیحات، الگو انطباق و نتایج خود، ارزیابی خواهد کرد.

تکنولوژی‌های مرسوم دسترسی چندگانه متعامد (OMA)، منابع زمان متعارف و فرکانس را برای چندین کاربر اختصاص می‌دهد و گیرنده هر کاربر می‌تواند از این اختیارات استفاده کند تا سیگنال خود را از دیگران جدا کند. تکنیک NOMA با استفاده از اصل کدینگ برهم‌نهی به چندین کاربر چندگانه در همان زمان و منابع فرکانس می‌پردازد. بنابراین، NOMA می‌تواند تعداد اتصالات را با معرفی نقاط نماد کنترل شده افزایش دهد. در حقیقت، NOMA می‌تواند ظرفیت سیستم چند کاربره را بیشتر از OMA افزایش دهد [۶]. به خاطر شهود، سیستم ساده دسترسی چندرسانه‌ای دو طرفه (MAC) را روی صدای سفید گواشی در کانال (AWGN) در نظر بگیرید.



شکل ۱: مناطق عملکردی OMA و NOMA.

در شکل ۱، منحنی نقطه چین و منحنی واقعی به ترتیب، مناطق ظرفیتی و عملکردی را برای OMA و NOMA نشان می‌دهند. در این شکل، p_i نشان دهنده قدرت کاربر و N_0 نشان دهنده چگالی طیفی قدرت یک طرفه AWGN است. نقاط C_1 و C_2 به ترتیب حداکثر نرخ فردی برای کاربر ۱ و کاربر ۲ را نشان می‌دهند و نقاط A ، B و E حداکثر امتیاز را تعیین می‌کنند. مشاهده می‌شود که میزان NOMA معمولاً بیشتر از OMA به جز در نقطه E است [۷]. از این‌رو، طرح NOMA براساس انتقال برهم‌نهی، مزایای واضحتری نسبت به OMA، از لحاظ سرعت، انعطاف‌پذیری کاربر و برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیری دارد.

به تازگی، بسیاری از طرح‌های NOMA برای 5G پیشنهاد شده است، مانند دامنه قدرت NOMA [۸]، پراکندگی چگالی کم (LDS) در دسترسی چندگانه [۹-۱۰]، دسترسی چندگانه منابع (RSMA) [۱۱]، نرخ کم کد و دسترسی مجدد مبتنی بر اثر (LSSA) [۱۲]، دسترسی مشترک به چند کاربر (MUSA) [۱۳]، دسترسی کدگذاری غیرمتعامد (NOCA) [۱۴]، دسترسی چندگانه کدگذاری غیرمتعامد (NCMA) [۱۵]، دسترسی چندگانه کدگذاری متعامد (GOCA) [۱۶]، دسترسی چندگانه به وسیله‌ی گسترش کران محدود (WSMA) [۱۷]، دسترسی چندگانه الگوی تقسیم (PDMA) [۱۸]، اثر چگالی کم یا اثر الگوریتم قدیمی (LDS-SVE) [۱۹]، دسترسی چندگانه کد پراکنده (SCMA) [۲۰]، دسترسی چندگانه چند شبکه‌ای (IGMA) [۲۱]، دسترسی چندگانه تقسیم تکراری (IDMA) [۲۲]، نرخ پایین کد پراکنده (LCRS) [۲۳]، و دسترسی چندگانه تقسیم تکراری (RDMA) [۱۶]. این تکنیک‌ها همه اصل قابلیت اطمینان را دنبال می‌کنند، و تفاوت میان آنها در طراحی اثر کاربر خواهد بود که مبتنی بر درآمیختن، پراکندگی، کدگذاری، جاگذاری کردن است. از این‌رو، ما این طرح‌ها را به چهار حوزه‌ی: مبتنی بر درآمیختن، مبتنی بر پراکندگی، مبتنی بر کدگذاری و NOMA مبتنی بر جاگذاری کردن، تقسیم‌بندی می‌کنیم [۲۴].

هدف اصلی این مقاله را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- ما یک طبقه‌بندی کلی از طرح‌های NOMA را پیشنهاد می‌کنیم که کاندیدای اصلی در 5G با توجه به ویژگی‌های آنها، است و به‌طور سیستماتیک نمودار بلوک فرستنده را در هر دسته خلاصه کرده و اصول اساسی، ویژگی‌ها کلیدی و الگوریتم‌های پذیرش و انتقال را در همه‌ی طرح‌های NOMA بررسی می‌کنیم.
- ما همه‌ی طرح‌های NOMA و OMA را از نظر تحلیل نظری، عملکرد شبیه‌سازی و پیچیدگی آنها، مقایسه می‌کنیم. بنابراین، برخی از طرح‌ها و جهت‌های امیدوار کننده برای آینده 5G NOMA توسعه پیدا کرده و پیشنهاد شده است.

بقیه این مقاله به شرح زیر است. در بخش دوم، ما به‌طور سیستماتیک ویژگی‌های کلیدی هر دسته از طرح‌های NOMA را خلاصه می‌کنیم و در مورد تمایز و تشابه میان آنها بحث می‌کنیم. در بخش سوم، مقایسه‌ی تئوری عملکرد، براساس اطلاعات متقابل میانگین (AMI) تحلیل شده است. بخش چهارم، نتایج شبیه‌سازی و مقایسه پیچیدگی گیرنده‌های NOMA را نشان می‌دهد. در نهایت، این تحقیق در بخش پنجم با ارائه نتیجه‌گیری به پایان می‌رسد.

۲- مدل‌های سیستم دسترسی چندگانه

در این بخش، ویژگی‌های کلیدی چهار دسته NOMA، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

الف) NOMA مبتنی بر درآمیختن

طرح NOMA مبتنی بر درآمیختن، شامل RSMA از کوالکام، LSSA از ETRI و قدرت محدوده NOMA از NTT DoCoMo است. نمودار بلوک پایه در شکل ۲ نشان داده شده است. این طرح از هر اثر درآمیختن متفاوت برای هر کاربر استفاده می‌کند و یک کدگذاری کانال پایین یا برنامه تکراری را برای رمزگشایی چند کاربره اتخاذ می‌کند. عملیات درآمیختن بعد از مدولاسیون انجام می‌شود. حداقل میانگین خطای مربع با تکرار تداخل (MMSE-SIC) و برآوردگر سیگنال اولیه (ESE) برای تشخیص چند کاربره (MUD) استفاده می‌شود [۲۵]. توالی‌های درآمیختن طولانی در RSMA استفاده می‌شود. با این حال، یک اثر طولانی کاربر موجب پیچیدگی و تأخیر رمزگشایی بالا می‌شود. بنابراین طول بردارهای علامت گذار در کوتاهترین زمان ممکن در LSSA طراحی

شده است. قدرت دامنه NOMA، به عنوان یک طرح ویژه NOMA مبتنی بر درآمیختن در نظر گرفته شده است که توالی های رمزگذاری درآمیختن در همه ی آنها برابر یک در نظر گرفته شده است.

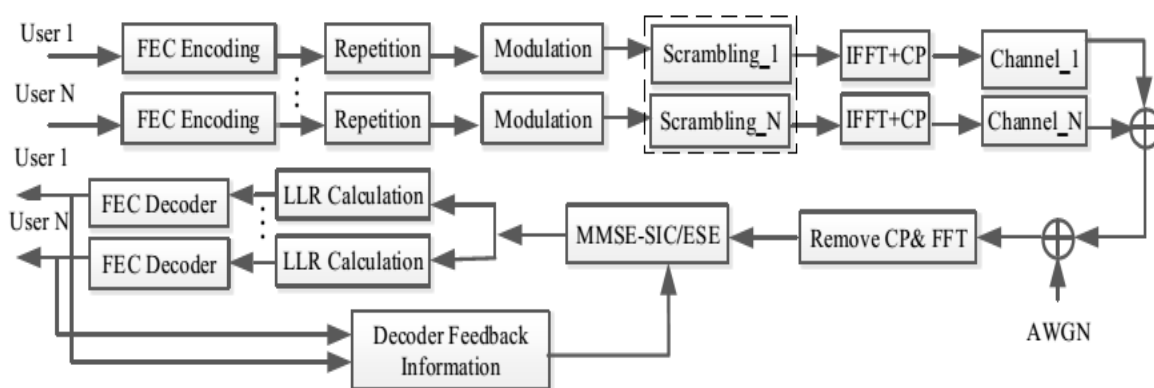
در این طرح، RSMA از خواص کراس-همبستگی پیوسته و تصادفی در درآمیختن طولانی مدت استفاده می کند. در واقع، پس از درآمیختن، نسبت سیگنال به قدرت تداخل با طول کد درآمیختن متناسب خواهد بود. شایان ذکر است که هر کاربر می تواند سیگنال را در هر زمان برای RSMA نامتقارن انتقال دهد. بسته به سناریوهای کاربردی، می تواند یک RSMA تک کاناله یا RSMA چندکاناله را اتخاذ کند، RSMA تک کاناله را می توان در دسترسی به بالا برای کاهش نسبت قدرت پیک به متوسط (PARP) UE استفاده کرد، همچنین RSMA چندکاناله در دسترسی پایین برای ساده سازی فرکانس و انتخاب گیرنده در کانال های بی سیم استفاده می شود؛ RSMA همچنین می تواند به چند لایه گسترش یابد. لایه های پردازش شده به عنوان کاربران مجازی شناخته می شوند و داده ها به چند لایه موازی برای هر کاربر تقسیم می شوند. پیچیدگی RSMA چند لایه ای، بالاتر از RSMA تک لایه ای است.

در طرح LSSA، اطلاعات هر کاربر توسط کدگذاری کانال کم سرعت رمزگذاری می شود و سپس خروجی کانال با اثر خاص کاربر که توسط کاربر یا به طور تصادفی در یک الگوی اثر از پیش تعیین شده، مشخص می گردد. تمام اثر کاربران دارای یک طول بردار کوتاه است. این الگوی اثر دیگر کاربران ناشناخته است. با همکاری با الگوهای اثر، ایستگاه پایه قادر به تشخیص سیگنال های همپوشانی کاربر خواهد بود، حتی اگر زمان انتقال متفاوت از یکدیگر باشد. طرح LSSA، همچنین دارای چند نوع حامل برای بهره برداری از تنوع فرکانس ارائه شده توسط پهنای باند وسیع تر و به منظور رسیدن به زمان کمتری است.

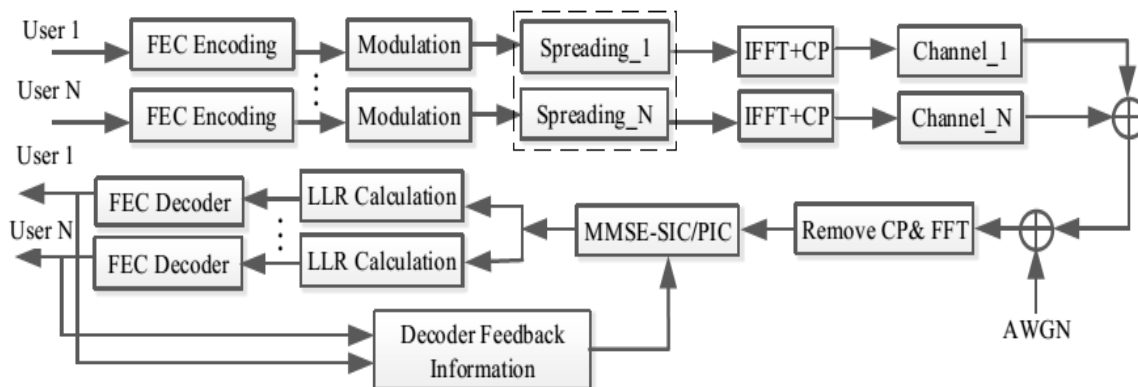
قدرت دامنه NOMA می تواند به کاربران متعدد در همان منابع رادیویی با اعطای قدرت های مختلف به چندین کاربر خدمت کند. ایده کلیدی قدرت دامنه NOMA، قدرت دادن به کاربر دور با شرایط کانال فقیر به دلیل اثر نزدیک به دور است. در طرف گیرنده، این چندتایی شدن کاربران را می توان با روش MMSE-SIC MUD به وسیله اختلاف قدرت بزرگ بین UFs زوج نزدیک تشخیص داد.

ب) NOMA مبتنی بر پراکندگی

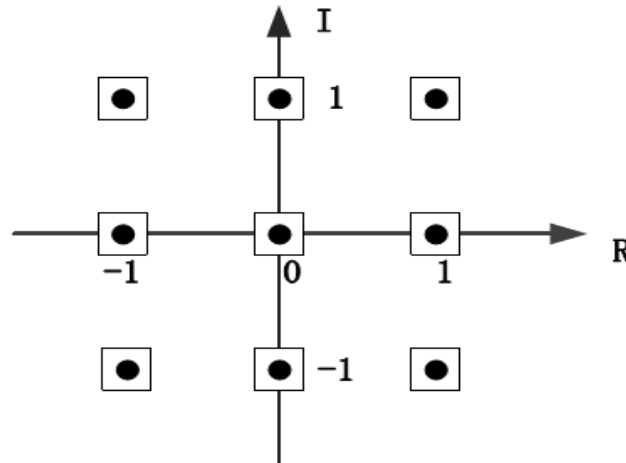
طرح‌های NOMA مبتنی بر پراکندگی شامل، MUSA از ZTE، NOCA از نوکیا، NCMA از LGE COCA و WSMA از Ericsson هستند. شکل ۳ نمودار بلوک فرستنده را نشان می‌دهد. ویژگی اصلی این روش، استفاده از توالی‌های کم عمق کوتاه غیرمتعارف با نسبت متقارن نسبتاً کم برای تشخیص چندین کاربر است و توالی‌های رسانه‌ای در این روش غیرپراکنده هستند. پراکندگی و الگوریتم رمزگشایی برای این طرح‌ها متفاوت است. توالی‌های گسترش کوتاه MUSA در دامنه براساس پیچیده-تعداد در نظر گرفته شده است. توالی‌های پخش شده برای NOCA، توالی‌های همبستگی کم در LTE [۲۶] تعریف شده است. توالی‌های پراکندگی NCMA با مشکل بسته‌بندی خط گراسمانیان مواجه هستند [۲۷]. توالی‌های پراکندگی WSMA براساس محدوده Welch کار می‌کنند [۲۸]. کدهای پراکندگی GOCA توالی‌ها را اتخاذ می‌کنند.



شکل ۲: نمودار بلوک فرستنده NOMA مبتنی بر درآمیختن.



شکل ۳: نمودار بلوک فرستنده NOMA مبتنی بر پراکندگی.



شکل ۴: عناصر پیچیده‌ی پراکندگی توالی سیگنال.

در MUSA، نمادهای مدولاسیون چند کاربره توسط توالی‌های کوتاه طراحی شده، گسترش می‌یابد. تمام نمادهای گسترش بیش از منابع مجدد فرکانس مشابه انتقال می‌یابند. توالی‌های توزیع چندگانه یک استخر را تشکیل می‌دهند که هر کاربر می‌تواند به‌طور تصادفی یکی را انتخاب کند. توالی‌های پراکندگی MUSA پیچیده هستند، که در آن قسمت واقعی و بخش خیالی هر دو از یک مجموعه چند سطحی واقعی با توزیع یکنواخت گرفته شده است. مثلاً، در شکل ۴ برای یک مجموعه ۳ ارزشی $(-1, 0, 1)$ ، در قسمت واقعی و بخش خیالی، نه نقطه در سطح پیچیده وجود دارد و هر عنصر پیچیده از توزیع گسترش به‌طور تصادفی از این نه نقطه با احتمال همبستگی مستقل به‌صورت شبه تصادفی در توالی پراکندگی کوتاه بهره می‌برد. در گیرنده شناسایی SIC، سطح کدورد برای جدا کردن سیگنال خود، از سیگنال‌های همپوشانی استفاده می‌کند.

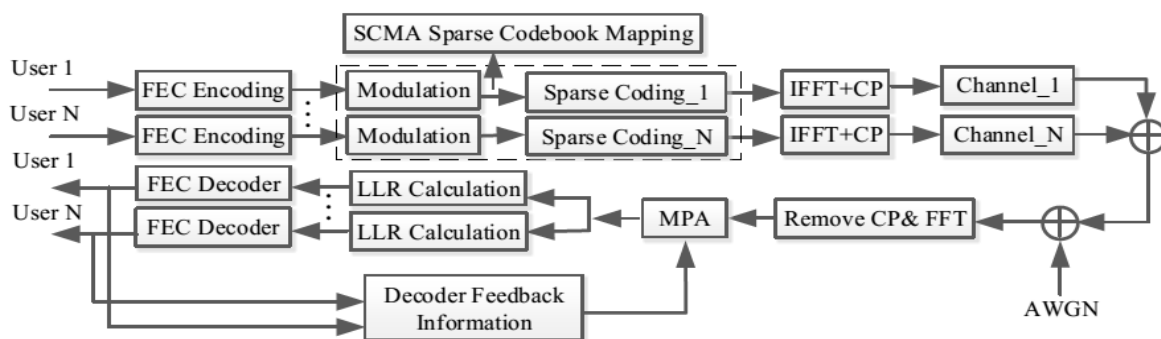
ایده اصلی NOCA این است که نمادهای مدولاسیون با استفاده از توالی‌های غیرعمودی قبل از انتقال، گسترش یابند. توالی‌های پراکندگی NOCA در سیگنال‌های مرجع LTE تعریف شده است که توسط شیفت‌های چرخه‌ای یک توالی پایه تولید می‌شوند. حداقل عامل گسترش، ۶ است. توالی داده‌ی مدولاسیون اصلی ابتدا به صورت موازی درمی‌آید؛ پس از آن، هر زیرشاخه توسط توالی‌های غیرمتعامد گسترش می‌یابد و سپس حامل‌های مختلف به آن متصل می‌شود. حداقل میانگین مربع خطا با گیرنده‌ی قطع‌کننده موازی (MMSE-PIC) برای رمزگشایی هر داده

کاربر از سیگنال‌های سوار استفاده می‌کند؛ NOCA مقدار زیادی از توالی‌های پخش را فراهم می‌کند؛ بنابراین می‌تواند بار اضافی را بالا ببرد و هماهنگی بین سلول‌ها را برای کاهش تداخلات تسهیل کند.

کدهای گسترش غیرمتعامد NCMA توسط خطوط گراسمانیان به دست آمده است. طرح کد کتاب گسترش می‌یابد تا فاصله کوتاه‌تر بین کدهای انتشار را به حداکثر برساند. الگوریتم MMSE-PIC برای NCMA در گیرنده استفاده می‌شود.

طرح توالی پراکندگی WSMA براساس محدوده‌ی Welch به منظور به حداقل رساندن همبستگی متقابل توالی‌های گسترش کاربرد دارد. در گیرنده، الگوریتم MMSE-SIC برای MUD استفاده می‌شود. با مقایسه‌ی دنباله‌های تصادفی در MUSA، توالی‌های پخش WSMA همبستگی نسبتاً پایینی دارند.

در این حالت، GOCA یک روش دو مرحله‌ای را برای تولید توالی‌های متعامدی گروهی اتخاذ می‌کند و سپس نمادهای مدولاسیون را به همان زمان و منابع فرکانس گسترش می‌دهد. توالی‌های متعامد و توالی‌های غیرمتعامد در مرحله اول و دوم استفاده می‌شود. توالی‌های گسترش GOCA را می‌توان برای چندین کاربر به گروه‌های مختلف تقسیم کرد، و هر گروه دارای همان دنباله‌ای متعامد و توالی‌های غیرمتعامد مختلف هستند. بنابراین، کاربران در هر گروه باقی می‌مانند، در حالی که کاربران در گروه‌های مختلف غیرمتعامد هستند، GOCA همچنین مزایای استفاده از الگوریتم MMSE-SIC را برای رمزگشایی چند کاربره می‌گیرد.



شکل ۵: نمودار بلوک فرستنده NOMA مبتنی بر کدگذاری.

ج) NOMA مبتنی بر کدگذاری

طرح‌های NOMA مبتنی بر کدگذاری از PDMA از CATT، LDS-SVE از Fujitsu و SCMA از Huawei تشکیل شده است. نمودار بلوک فرستنده در شکل ۵ نشان داده شده است. ویژگی مشخص آن طراحی یک رمزنگاری اسپارس است که در چندین دامنه (فضا، کد، زمان یا فرکانس) برای چند کاربر طراحی شده است. الگوریتم انتقال پیام (MPA) برای MUD اجرا می‌شود. اندازه‌ی پیچیدگی MPA با اندازه‌ی رمزنگاری و میزان سیگنال قرار گرفته بر روی یک عنصر منبع داده (RE) نمایان خواهد شد، که برای برنامه‌های کاربردی بسیار مناسب است. یک گیرنده جدید با کمترین پیچیدگی که مبتنی بر الگوریتم انتظار انتشار (EPA) است، برای کاهش پیچیدگی از نمایشگر خطی استفاده کرده و می‌تواند تقریباً همان عملکرد خطای بلوک (BLER) را به دست آورد [۲۹].

طرح PDMA، که براساس تکنیک SAMA (SIC دسترسی چندگانه موجود) می‌باشد [۳۰]، می‌تواند در کارهای انجام شده، از جمله دامنه کد، دامنه قدرت، دامنه فضایی یا ترکیب آنها، تحقق یابد. طراحی فرستنده و گیرنده، به خصوص در چگالی نابرابر در طرف فرستنده و تنوع برابر در طرف گیرنده انجام می‌گیرد. نقشه‌برداری PDMA داده‌های منتقل را به یک گروه از منابع تعریف می‌کند. به عنوان مثال، یک ماتریس الگو PDMA برای ۶ کاربر در 4REs به صورت زیر بیان می‌شود:

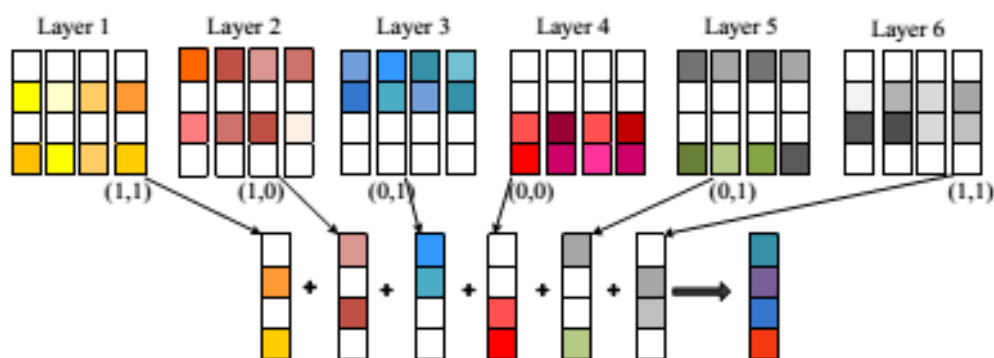
$$G = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

شکل ۶ روند پردازش مربوط به منابع را نشان می‌دهد. سفارش تنوع انتقال از شش کاربر به ترتیب ۴، ۳، ۲، ۲، ۱، و ۱ است. الگوی طراحی شده برای تمایز چندین کاربر سبب اشتراک گذاری منابع مشابه خواهد شد. این عملکرد به الگوی ماتریس PDMA بستگی دارد.

طرح LDS-SVE براساس LDS اصلی برای طراحی یک بردار کاربر بزرگ کاربرد دارد. این فرمت را می‌توان با تبدیل و ترکیب چند عنصر به یک بردار اثر بزرگتر تبدیل کرد. نقشه‌ی بردارهای امضای کاربر LDS-SVE در چند بلوک منابع (RBها) به منظور بهره‌برداری از تنوع زمان و فرکانس از تغییرات کانال مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۶: الگو PDMA برای ۶ کاربر در 4RES به اشتراک گذاشته شده است.



شکل ۷: نحوه‌ی تبدیل رمزنگاری SCMA به بیت‌های کد کلمه.

در SCMA، بیت‌های کد شده‌ای از لایه‌های داده‌های چندگانه به طور مستقیم به کد کلمه‌ها با توجه به کدبندی مربوطه در دامنه زمان و فرکانس، تبدیل می‌شوند. در شکل ۷ نمونه‌ای از مجموعه کدبندی شامل ۶ رمزنگاری برای ۶ لایه داده در 4RES نشان داده شده است. هر کدبندی دارای ۴ کد کلمه‌ی چندگانه پیچیده است که به ترتیب ۴ نقطه به صورت تغییر شکل فاز چهارگانه (QPSK) به دست آمده است. طول هر کد کلمه، ۴ است، که همان طول گسترش است. کد کلمه هر لایه براساس بیت دنباله ورودی انتخاب شده است. این عامل اجازه می‌دهد که موقعیت

چند علامت از کاربران مختلف در هر RE مشخص شود. در شکل ۷، ۳ نماد از UE های مختلف در هر RE نشان داده شده است و ترتیب تنوع انتقال برای تمام شش کاربر مشخص گردیده و مقدار آن ۲ است. ماتریس مرتبط با F به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

طراحی رمزنگاری SCMA بر مبنای شبیه سازی رمزنگاری های پراکنده و چندبعدی چرخشی برای دستیابی به «شکل دهی» اضافی خواهد بود که برای PDMA و LDS-SVE این مسئله غیرممکن است. علاوه بر این، برای حمایت از چندین کاربر با کسب و کارهای مختلف (مانند پوشش، اتصالات و ظرفیت)، رمزنگاری نامنظم SCMA پیشنهاد شده است، که میزان درجه RE آن متفاوت است؛ SCMA همچنین از رمزنگاری منتشر شده برای کاهش تعداد برخوردهای نماد استفاده می کند و بنابراین پیچیدگی MUD را کاهش می دهد.

(د) NOMA مبتنی بر جاگذاری کردن

طرح های NOMA مبتنی بر جاگذاری کردن از IGMA از سامسونگ، RDMA از Mediatek، IDMA از نوکیا و LCRS از اینتل تشکیل می شوند که از مفهوم اساسی IDMA حاصل می شوند [۳۱، ۳۲]. مشخصه متمایز این است که استفاده از جاگذاری کردن کانال های مختلف برای چندین کاربر با هم همپوشانی داشته باشد و با کدگذاری کانال های کم هزینه برای رمزگشایی چند کاربر ترکیب شود.

طرح IDMA، به عنوان یک طرح اصلی NOMA مبتنی بر جاگذاری کردن، از الگوهای مختلف تصادفی برای جدا کردن کاربران استفاده می کند. در فرستنده توزیع نمادهای متعدد از همه کاربران بر روی هر RE انجام می شود، بنابراین تعداد برخوردهای نماد برابر با تعداد کاربران است. در گیرنده، الگوریتم ESE با کمبود پیچیدگی برای MUD روبه رو می شود [۲۵]. کمبود پیچیدگی ESE یک نسبت درست نمایی برحسب لگاریتم (LLR) را به رمزگذار کانال ارائه می دهد و به نوبه خود، رمزگشای کانال، برآوردهای LLR بیرونی را به ESE می فرستد.

در این طرح RDMA از یک الگوی تکرار چرخشی ساده برای جدا کردن سیگنال‌های مختلف کاربران استفاده می‌کند و از هر دو تنوع زمان و فرکانس استفاده می‌کند. این حالت را می‌توان به‌عنوان یک جاگذاری چرخه‌ای خاص مشاهده کرد. گیرنده SIC برای رمزگشایی داده‌های هر کاربر از سیگنال سوار استفاده می‌کند. در LCRS، کدگذاری کانال، تکرار سطح بیتی، جاگذاری سطح بیتی و مدولاسیون انجام شده به‌صورت پیوسته برای هر کاربر انجام می‌شود. در گیرنده MMSE-PIC این کار برای MUD انجام می‌شود. نمودار بلوک فرستنده IGMA در شکل ۸ نشان داده شده است. در فرستنده، کانال کدگذاری، تکرار سطح بیتی، جاگذاری سطح بیتی، مدولاسیون، افزونه صفر و جاگذاری سطح نماد به‌صورت پیوسته برای هر کاربر انجام می‌شود. در گیرنده، الگوریتم ESE برای رمزگشایی چند کاربره اجرا می‌شود. علاوه بر الگوی جاگذاری کردن، IGMA همچنین از یک الگوی نقشه‌برداری شبکه‌ای همزمان در دامنه‌ی زمان و فرکانس استفاده می‌کند که مانند LDS است. بنابراین، IGMA در واقع مخلوطی از برنامه‌های مبتنی بر جاگذاری کردن و مبتنی بر کدگذاری است. الگوی نقشه‌برداری یک شبکه اسپارس است که می‌تواند موجب کاهش تلفات نماد و کاهش پیچیدگی تشخیص در مقایسه با طرح IDMA معمولی شود.

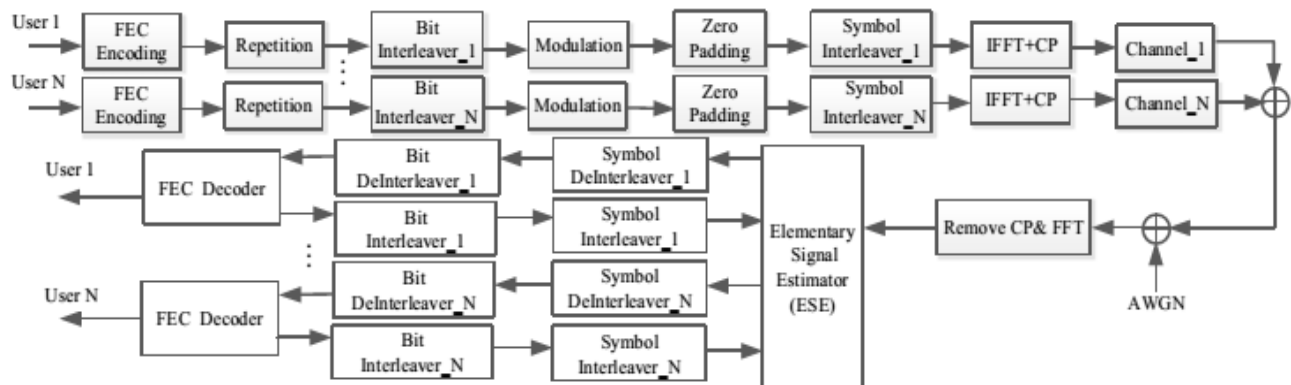
۳- تجزیه و تحلیل تئوری عملکرد

واکنش AMI، نشان دهنده‌ی حداکثر میزان اطلاعات است که قابلیت اطمینان برای اطلاعات مربوط به وضعیت کانال را توصیف می‌کند. در مورد کاربر محدود، AMI بین سیگنال پس از نقشه‌برداری و قبل از نرم‌افزار demapper مدولاسیون کد CM-AMI نامیده می‌شود [۳۳]. ما این تحلیل CM-AMI جهت ارزیابی چند کاربره عملکرد نرخ قابل دستیابی از سیستم‌های NOMA انجام می‌دهیم. در این حالت، $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_J]$ نشانگر نماد بردار مدولاسیون چند کاربره قبل از الگوی NOMA می‌باشد و $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_{K \cdot N_r})$ نشان دهنده بردار کانال خروجی در دریافت J، K، M و N_r برای تعداد کاربران، طول اثر NOMA، درجه مدولاسیون و تعداد آنتن‌های دریافتی می‌باشد و آن را به‌طور قابل توجهی نشان می‌دهد. فرض

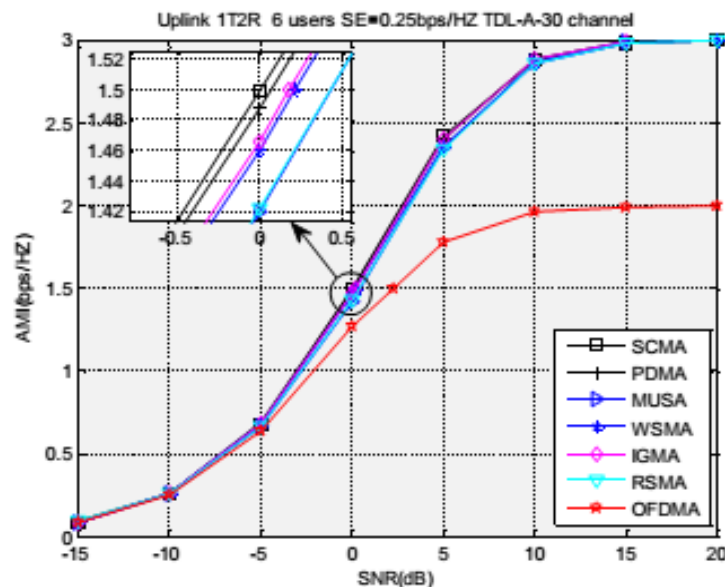
کنید مقادیر $\Omega = \{\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_{2^{MJ}-1}\}$ ورودی را نشان می‌دهد که CM-AMI می‌تواند نقاط دلخواه را در

ابعاد بالا به صورت زیر محاسبه کند:

$$\begin{aligned}
 I_{CM} &= \frac{1}{K} I(\mathbf{x}; \mathbf{y} | \mathbf{H}) \\
 &= \frac{1}{K} (H(\mathbf{x}) - H(\mathbf{x} | \mathbf{y})) \\
 &= \frac{J \log_2 M}{K} - \frac{1}{K} \mathbb{E}_{\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{H}} \left\{ \log_2 \left[\frac{\sum_{w \in \Omega} P(\mathbf{y} | \mathbf{x} = w, \mathbf{H})}{P(\mathbf{y} | \mathbf{x}, \mathbf{H})} \right] \right\}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$



شکل ۸: نمودار بلوک فرستنده NOMA مبتنی بر جاگذاری کردن.



شکل ۹: مقایسه AMI برای NOMA و OFDMA در کانال TDL-A-30.

جدول ۱: پارامترهای شبیه‌سازی

Parameter	Value
Carrier frequency	2GHz
Length of information bits	216bits
System bandwidth	10MHz
Modulation	QPSK; 16QAM
Code rate	1/2; 3/4
Channel coding	LTE turbo code
Antenna configuration	1Tx; 2Rx
Channel model	TDL-A-30
Channel estimation	Ideal; Realistic
FFT length	1024
Overloading factor	150% ; 200%
Users	6; 8

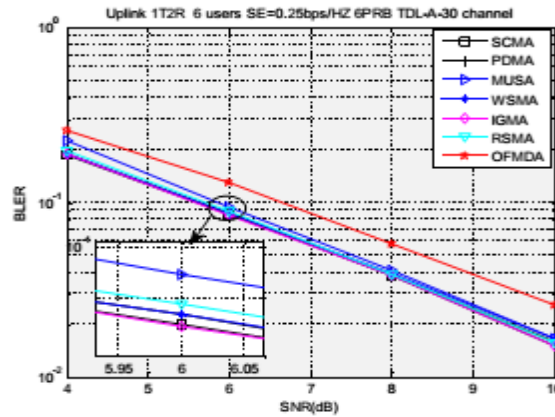
روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای محاسبه معادله‌ی (۱) استفاده می‌شود. با فرض اینکه یک سیستم فراسوی MAC ، شصت کاربر را در خط تاخیر ضربه‌ای TDL-A-30 کانال H [۳۴] و برآورد کانال ایده‌آل، منحنی CM-AMI از طرح‌های NOMA و دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس متعامد (OFDMA) در شکل ۹ نشان داده شده است. بعضی از پارامترها بدون برنامه‌نویسی کانال در جدول ۱ درج شده است. فاکتور بارگیری ۱۵٪، SE برای هر کاربر ۰/۲۵ بیت در هرتز و نرخ جمع ۱/۵ بیت در هرتز است. نسبت سیگنال به نویز (SNR) به‌عنوان نسبت کل متوسط دریافتی چند کاربره به قدرت سر و صدا در هر آنتن دریافتی برای پهنای باند داده شده، تعریف می‌شود. تعداد کاربران، SE در هر کاربر و پهنای باند انتقال برای هر دو طرح NOMA و OFDMA برای تضمین مقایسه‌ای یکسان است. می‌توان مشاهده کرد که SCMA، PDMA، IGMA، WSMA، RSMA و MUSA می‌توانند به ترتیب ۲/۲ دسی‌بل، ۲/۲۵ دسی‌بل، ۲/۱۲ دسی‌بل، ۲/۰۹ دسی‌بل، ۱/۷ دسی‌بل و ۱/۷۸ دسی‌بل SNR، به‌عنوان مقایسه با OFDMA با نرخ جمع ۱/۵ بیت در هرتز به‌دست آورند. بنابراین، به‌طور نظری، تجزیه و تحلیل AMI چند کاربره، برتری قابل توجهی از طرح‌های NOMA را بیش از OMA برای میزان قابل دستیابی داده شده، ارائه می‌دهد. علاوه بر این، طرح‌های NOMA مبتنی بر جاگذاری کردن دارای عملکرد مطلوبی هستند.

۴- نتایج مدل سازی و مقایسه‌ی پیچیدگی

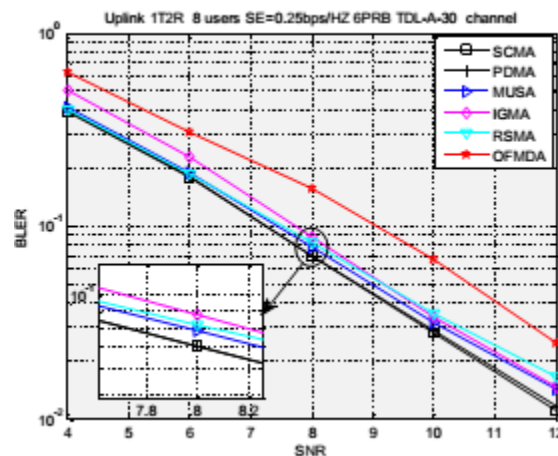
در این بخش نتایج شبیه‌سازی شده برای ارزیابی عملکرد خطای طرح‌های فراسوی NOMA ارائه شده است. جزئیات پارامترهای شبیه‌سازی در جدول ۱ نشان درج شده است. فرض می‌شود که UEs چندگانه به اشتراک ۶ بلوک منابع فیزیکی (PRBها) برای انتقال سیگنال‌ها نیاز دارد. یک PRB ۱۲ عدد OFDM را در حوزه زمان و ۱۲ زیر حامل در دامنه فرکانس می‌گیرد.

الف) نتایج طرح‌های NOMA با ارزیابی کانال ایده‌آل

با فرض برآورد کانال ایده‌آل، شکل ۱۰ و شکل ۱۱ مقایسه عملکرد BLER در طرح‌های NOMA و OFDMA را برای ۶ و ۸ UEs نشان می‌دهد. کد توربو LTE مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۵]. در شکل ۱۰، QPSK و نصف نرخ کد نهایی برای NOMA، QPSK و نرخ کد ۴/۳ برای OFDMA فاکتور بارگیری ۰.۱۵، SE برای هر کاربر ۰.۲۵ بیت در هرتز و نرخ جمع ۱/۵ بیت در هرتز است. در شکل ۱۱، QPSK و نصف نرخ برای NOMA، 16QAM و نصف نرخ برای OFDMA، فاکتور بارگیری ۰.۲۰۰، SE برای هر کاربر ۰.۲۵ بیت در هرتز و نرخ جمع ۲ بیت در هرتز است. در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که SCMA، PDMA، IGMA، WSMA، RSMA و MUSA می‌توانند به ترتیب ۱ دسی‌بل، ۱ دسی‌بل، ۱ دسی‌بل، ۰.۹ دسی‌بل و ۰.۷ دسی‌بل SNR، در هدف BLER 0.1 نسبت به OFDMA به‌دست آورند، که تحلیل نظری AMI در شکل ۹ مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که SCMA، PDMA، MUSA، RSMA و IGMA می‌توانند به ترتیب ۱/۸ دسی‌بل، ۱/۸ دسی‌بل، ۱/۶ دسی‌بل، ۱/۵۵ دسی‌بل و ۱/۳۳ دسی‌بل SNR، در هدف BLER 0.1 نسبت به OFDMA به‌دست آورند.



شکل ۱۰: مقایسه عملکرد ۶-کاربر BLER در NOMA با کانال TDL-A-30.

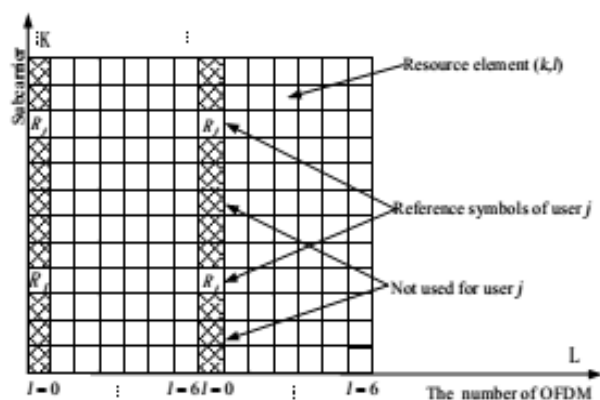


شکل ۱۱: مقایسه عملکرد ۸-کاربر BLER در NOMA با کانال TDL-A-30.

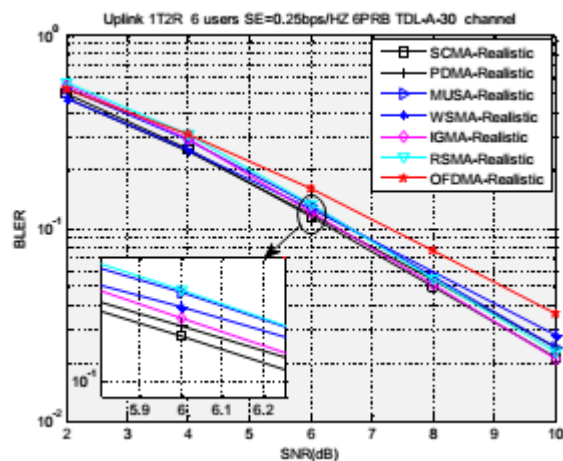
بنابراین، دستاوردهای عملکردی طرح‌های NOMA بیش از OFDMA قابل توجه است. علاوه بر این، هنگامی که تعداد UE افزایش می‌یابد، سیستم OFDMA نیاز به استفاده از مدولاسیون با درجه بالاتر را دارد تا اتلاف عملکردی کاهش یابد، در حالی که NOMA با مدولاسیون درجه پایین می‌تواند استفاده کامل از کدگذاری فوق‌العاده را برای فاکتور بارگذاری بالاتر سبب شود. بنابراین، در مقایسه با شکل ۱۰ و شکل ۱۱، تفاوت عملکرد BLER بین طرح‌های NOMA و OFDMA با افزایش تعداد UE افزایش می‌یابد.

ب) نتایج طرح‌های NOMA با ارزیابی کانال واقعی

به منظور کاربرد، نتایج عملکردی طرح‌های NOMA توریو با تخمین کانال واقع در شکل ۱۳ نشان داده شده است و مورد ۶-UE مانند شکل ۱۰ فرض شده است. شکل ۱۲ روند پردازش سیگنال‌های مرجع برای کاربر j را نشان می‌دهد. اولین نماد OFDM از یک قاب رادیویی برای انتقال توالی سیگنال مرجع LTE استفاده می‌کند [۲۶] و ۶ نماد OFDM را برای ارسال سیگنال از ۶ UEs دریافت می‌نماید. RE سیگنال مرجع برای کاربر j است که به وسیله R_j نشان داده می‌شود. که توسط دیگر UE‌ها از هم جدا شده و با فاصله ۶ زیر حامل در طیف توزیع می‌گردد.



شکل ۱۲: الگوی سیگنال‌های مرجع برای کاربر j (پیشوند سیکل معمولی)

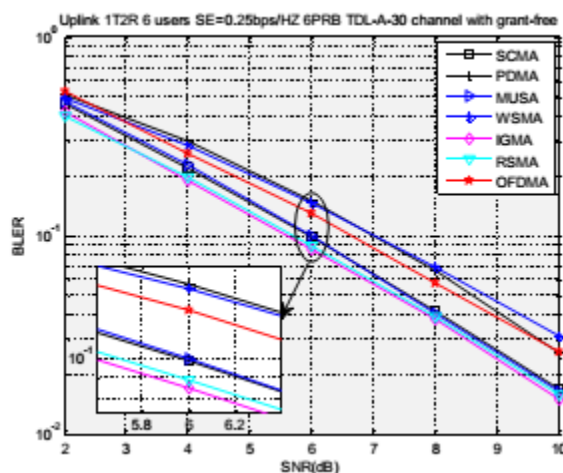


شکل ۱۳: مقایسه عملکرد ۶-کاربر BLER در NOMA با کانال TDL-A-30 با تخمین کانال واقعی.

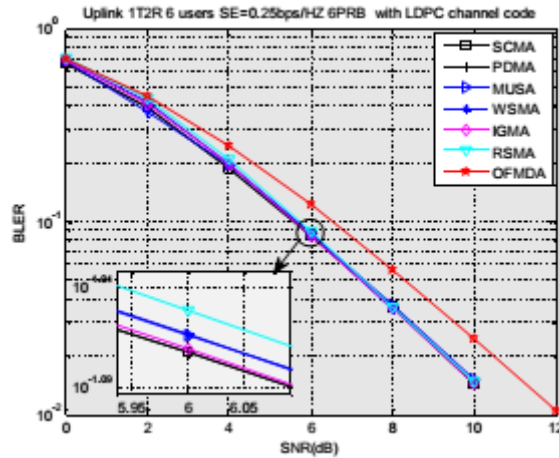
تخمین کانال خطی حداقل مربعات خطا (LMMSE) و الگوریتم تجمع خطی در طرح‌های تخمین کانال واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۱۳، مشاهده می‌شود که RSMA، WSMA، IGMA، PDMA، SCMA و MUSA می‌توانند به ترتیب ۰/۹۷ دسی‌بل، ۰/۸۵ دسی‌بل، ۰/۸۴ دسی‌بل، ۰/۶۸ دسی‌بل، ۰/۶۶ دسی‌بل و ۰/۶۵ دسی‌بل SNR، در مقایسه با OFDMA و در هدف BLER 0.1 نسبت به OFDMA به دست آورند. بنابراین، طرح‌های NOMA نسبت به OMA در تخمین کانال واقعی، که برای برنامه‌های مهندسی کاربردی‌تر است، برتری بیشتری دارند.

ج) نتایج طرح‌های NOMA در حالت بدون هزینه

به دلیل قابلیت اطمینان، نتیجه عملکرد BLER از طرح‌های NOMA با استفاده از کد توربو بدون هزینه در شکل ۱۴ نشان داده شده است، و مورد ۶-UE مانند شکل ۱۰ فرض شده است. تخصیص کدبندی برای هر UE می‌تواند ثابت یا تصادفی باشد. برای طرح‌های NOMA مبتنی بر تقاضا، یک ایستگاه پایه (BS) رمزنگاری‌های مختلف را به UE اختصاص می‌دهد که بسیار پیچیده است و نیاز به برنامه‌ریزی BS برای ایجاد تاخیر نسبتاً زیاد دارد. برای طرح‌های NOMA بدون هزینه، UE‌ها به‌طور تصادفی رمزنگاری را بدون برنامه زمان‌بندی BS انتخاب می‌کنند که بسیار ساده و کاربردی برای برنامه‌های کم سرعت است. در واقع، MUSA، IGMA و RSMA از نظر طبیعی بدون هزینه هستند.



شکل ۱۴: مقایسه عملکرد ۶-کاربر BLER بدون هزینه در NOMA با کانال TDL-A-30.



شکل ۱۵: مقایسه عملکرد ۶-کاربر BLER تحت کد LDPC در NOMA با کانال TDL-A-30.

اما برخی از رمزنگاری‌ها، الگوها و پراکندگی‌های مربوطه به ترتیب برای SCMA، PDMA و WSMA بدون هزینه در نظر گرفته می‌شوند، که باعث کاهش کارایی می‌شود. با استفاده از OFDMA مبتنی بر هزینه به‌عنوان پایه، IGMA، SCMA، MUSA و RMSA می‌توانند به ترتیب ۱ دسی‌بل، ۰/۹ دسی‌بل، ۰/۶ دسی‌بل و ۰/۴ دسی‌بل SNR، در هدف BLER 0.1 به‌دست آیند، در حالی که به ترتیب PDMA و WSMA از ۰/۳ دسی‌بل و ۰/۴ دسی‌بل SNR رنج می‌برند، از این‌رو، IGMA، SCMA، MUSA و RMSA دارای سناریوی رایگان هستند.

د) نتایج طرح‌های NOMA مبتنی بر کد LDPC

کدهای بررسی چگالی کم قدرتمند (LDPC) در آخرین استانداردهای 5G اتخاذ می‌شوند [۳۶]. عملکرد BLER از طرح‌های NOMA کدگذاری شده توسط LDPC در شکل ۱۵ ارزیابی شده است مورد ۶-UE مانند شکل ۱۰ فرض شده است. با فرض کانال ایده‌آل و طرح مبتنی بر نداشتن هزینه، SCMA کدگذاری شده LDPC، PDMA، WSMA، IGMA و MUSA می‌توانند به ترتیب ۰/۹ دسی‌بل، ۰/۹ دسی‌بل، ۰/۹ دسی‌بل، ۰/۸ دسی‌بل و ۰/۹ دسی‌بل در هدف BLER 0.1 در زیر کانال TDL-A-30 در مقایسه با OFDMA کدگذاری شده با LDPC به‌دست آورند. در واقع، طرح‌های NOMA کدگذاری LDPC دارای تقریباً

همان BLER و SNR به عنوان طرح‌های NOMA با برچسب توربو کد مربوطه در شکل ۱۰ هستند. بنابراین، طرح‌های NOMA برای کدهای 5G LDPC قوی هستند.

ه) مقایسه‌ی پیچیدگی

الگوریتم‌های رمز گشایی گیرنده‌های طرح NOMA در جدول ۲ خلاصه شده است. طرح‌های NOMA مبتنی بر کدگذاری مانند SCMA، PDMA و LDS-SVE، از گیرنده MPA برای تشخیص تکراری ترکیب با رمزگشایی کانال، و تعداد تکرار خارجی و تکرار داخلی به ترتیب ۴ و ۳ استفاده می‌کنند؛ RSMA، IDMA و IGMA از الگوریتم ESE برای تشخیص تکرار استفاده می‌کنند و تعداد تکرار خارجی ۴ است؛ LCRS، NOCA و NCMA از الگوریتم MMSE-PIC بدون تکرار خارجی استفاده می‌کنند. برای MUSA و WSMA، از MMSE-SIC بدون تکرار خارجی استفاده می‌شود. برای مورد ۶-UE در شکل ۱۰، کل تشخیص NOMA و پیچیدگی رمزگشایی توربو را در طرح‌های NOMA در گیرنده، از جمله عملیات ضرب، اضافه کردن و مقایسه، محاسبه می‌کنیم [۳۷]. در حالت آماری، یک عملیات مقایسه برابر یک عملیات اضافه است، در حالی که یک عملیات ضرب به هشت عملیات اضافی معادل شده است. با در نظر گرفتن واسطه‌های خارجی و داخلی، جدول ۲ عملیات رمزگشایی در هر بیت اطلاعات و درصد پیچیدگی نسبی را نسبت به SCMA نشان می‌دهد. بدیهی است، پیچیدگی SCMA بالاترین است، در حالی که MUSA و WSMA تقریباً کمترین پیچیدگی را دارند. با این حال، عملیات تشخیص یا رمزگشایی گیرنده‌ها در همان دستورالعمل پیچیدگی برای تمام طرح‌های NOMA قرار دارد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، آخرین طرح‌های NOMA برای استاندارد 5G پیشنهاد شده و طرح‌ها به طور جامع مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در ابتدا، این طرح‌ها را به چهار دسته‌ی؛ مبتنی بر درآمیختن، مبتنی بر پراکندگی، مبتنی بر کدگذاری و NOMA مبتنی بر جاگذاری کردن تقسیم‌بندی می‌کنیم. ویژگی‌های کلیدی و الگوریتم‌های فرستنده هر طرح NOMA دقیق و مقایسه می‌شود. به لحاظ نظری، آنالیز AMI چند کاربره نشان می‌دهد که طرح‌های NOMA می‌توانند به میزان قابل توجهی مقدار قابل دستیابی SNR را به دست آورند. در واقع، نتایج شبیه‌سازی

جامع، چنین سود قابل توجهی را حتی برای تخمین کانال واقعی و سناریوی بدون هزینه تأیید می‌کند. مقیاس پیچیدگی طرح NOMA نیز ارائه شده است. به نظر می‌رسد که برنامه‌های NOMA مبتنی بر کدگذاری و مبتنی بر براکنندگی دارای مزایایی در ارتباط با ارتباطات بزرگتر و قابلیت‌های قوی هستند. با این حال، ما فکر می‌کنیم که هنوز هم تعدادی از ایده‌های بهبود برای این طرح‌ها برای ترکیب اثرها (الگوهای) NOMA با کدهای LDPC قدرتمند 5G، مدولاسیون مرتبه بالا و طرح‌های ترکیبی ARQ (HARQ) افزایشی اضافه شده وجود دارد.

جدول ۲: مقایسه‌ی پیچیدگی

NOMA	Receiver algorithm	Multiplication per bit	Addition per bit	Comparison per bit	Operations per bit	Percentage
SCMA	MPA	300	3634	956	6990	100%
RSMA	ESE	364	2264	228	5404	77.3%
PDMA	MPA	235	2364	952	5196	74.3%
IGMA	ESE	278	2224	228	4676	66.9%
WSMA	MMSE-SIC	387	921	229	4246	60.7%
MUSA	MMSE-SIC	387	921	229	4246	60.7%

منابع

- [1] G. Eason, Boccardi, R. W. Heath Jr, A. Lozano, T. L. Marzetta, and P. Popovski, "Five disruptive technology

- directions for 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 74–80, Feb. 2014.
- [2] 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, Oct. 2017.
 - [3] Zhiguo Ding, Yuanwei Liu, Jinho Choi, Qi Sun, Maged Elkashlan, Chih-Lin I, and H. Vincent Poor, "Application of Non-Orthogonal Multiple Access in LTE and 5G Networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 2, pp. 185–191, February 2017.
 - [4] Z. Ding, X. Lei, G. K. Karagiannidis, R. Schober, J. Yuan and V. K. Bhargava, "A Survey on Non-Orthogonal Multiple Access for 5G Networks: Research Challenges and Future Trends," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 10, pp. 2181–2195, Oct. 2017.
 - [5] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies (Release 14), document 3GPP TR 38.913 V14.3.0, Jun.2017.
 - [6] D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 2005, pp. 228–240.
 - [7] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C. I. I and Z. Wang, "Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 74–81, Sep. 2015.
 - [8] Initial views and evaluation results on non-orthogonal multiple access for NR, document R1-165175, NTT DOCOMO, 3GPP, May 2016.
 - [9] R. Hoshyar, F.P. Wathan, and R. Tafazolli, "Novel low-density signature for synchronous CDMA systems over AWGN channel," *IEEE Trans.Signal Process.*, vol. 56, no. 4, pp. 1616–1626, Apr. 2008.
 - [10] J. Van De Beek and B. M. Popovic, "Multiple access with low-density signatures," in *Proc. IEEE GLOBE-COM*, Dec. 2009, pp. 1–6.
 - [11] Resource spread multiple access, document R1-164688, Qualcomm, 3GPP, May 2016.
 - [12] Low code rate and signature based multiple access scheme for New Radio, document R1-164869, ETRI, 3GPP, May 2016.
 - [13] Contention-based non-orthogonal multiple access for UL mMTC, document R1-164269, ZTE, 3GPP, May 2016.
 - [14] Non-orthogonal multiple access for New Radio, document R-165019, Nokia, 3GPP, May 2016.
 - [15] Considerations on DL/UL multiple access for NR, document R1-162517, LGE, 3GPP, Apr. 2016.
 - [16] New uplink non-orthogonal multiple access schemes for NR, document R1-167535, Mediatek, 3GPP, Aug. 2016.
 - [17] NOMA Design principles and performance, Ericsson, IMT-2020, Beijing, China, 14 Jun. 2017.
 - [18] Candidate Solution for New Multiple Access, document R1-163383, CATT, 3GPP, Apr. 2016.
 - [19] Initial LLS results for UL non-orthogonal multiple access, document R1-164329, Fujitsu, 3GPP, May 2016.
 - [20] LLS results for uplink multiple access, document R1-164037, Huawei, 3GPP, May 2016.
 - [21] Non-orthogonal multiple access candidate for NR, document R1-163992, Samsung, 3GPP, May 2016.
 - [22] Performance of Interleave Division Multiple Access (IDMA) in combination with OFDM family waveforms, document R1-165021, Nokia, 3GPP, May 2016.
 - [23] Multiple access schemes for new radio interface, document R1-162385, Intel, 3GPP, Apr. 2016.
 - [24] Classification of candidate UL non-orthogonal MA schemes, document R1-167445, China Telecom, 3GPP, Aug. 2016.
 - [25] Li Ping, Lihai Liu, K. Y. Wu, and W. K. Leung, "On Interleave-division Multiple-Access," in *Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Jun. 2004, pp. 2869–2873.
 - [26] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 13), document 3GPP TS36.211.version 13.1.0, Mar. 2016.
 - [27] Ahmed Medra and Timothy N. Davidson, "Flexible Codebook Design for Limited Feedback Systems via Sequential Smooth Optimization on the Grassmannian Manifold," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 62, no. 5, pp. 1305–1318, Mar. 2014.
 - [28] L. Welch, "Lower bounds on the maximum cross correlation of signals," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 20, no. 3, pp. 397–399, May 1974.
 - [29] X. Meng, Y. Wu, Y. Chen and M. Cheng, "Low Com-

- plexity Receiver for Uplink SCMA System via Expectation Propagation,” in Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Mar. 2017, pp. 1–5.
- [30] Xiaoming Dai, Shanzhi Chen, Shaohui Sun, Shaoli Kang, Yinmin Wang, Zukang Shen, and Jin Xu, “Successive Interference Cancellation Amenable Multiple Access (SAMA) for Future Wireless Communications,” in Proc. IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS), Nov. 2014, pp. 222–226.
 - [31] Li Ping, Lihai Liu, Keying Wu and W. K. Leung, “Interleave division multiple-access,” IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 5, no. 4, pp. 938–947, Apr. 2006.
 - [32] Li Ping, “Interleave-division multiple access and chip-by-chip iterative multi-user detection,” IEEE Commun. Mag., vol. 43, no. 6, pp. S19–S23, Jun. 2005.
 - [33] Qiuliang Xie, Jian Song, Kewu Peng, Fang Yang, and Zhaocheng Wang, “Coded modulation with signal space diversity,” IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.10, no.2, pp.660–669, Feb. 2011.
 - [34] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz (Release 14), document 3GPP TR38.900.version 14.2.0, Dec. 2016.
 - [35] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding (Release 14), document 3GPP TS 36.212 V14.5.0, Dec. 2017.
 - [36] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Multiplexing and channel coding (Release 15), document 3GPP TS38.212.version 1.2.1, Dec. 2017.
 - [37] P. Robertson, E. Villebrun, and P. Hoeher, “A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the log domain” in Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC), Jun. 1995, pp. 1009–1013.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی