

کنترل تداخل و افزایش ظرفیت در یک شبکه LTE با ایجاد اختلاف فاز بین سیگنال‌های ارسالی

حمیدرضا میرسالاری و ناصر ندا

سیستم‌های نوین، نیاز بیشتری به استفاده مجدد از فرکانس‌ها در سل‌ها احساس می‌شود تا بتوان افزایش ترافیک، نرخ بالا و کیفیت سرویس‌دهی مطلوب را پشتیبانی کرد. البته این خود منجر به افزایش تداخل در شبکه می‌شود و از این رو نیاز به مدیریت و کنترل تداخل در این شبکه‌ها می‌باشد [۳] و [۴].

در این مقاله طرح‌های نوینی از تخصیص حامل‌های فرکانسی OFDM به نواحی مختلف یک سلول شامل استفاده مجدد فرکانس با ضریب ۱ و ۳ (Reuse -1 و Reuse -3)، سکتوربندی، ترکیب دو طرح Reuse -1 و Reuse -3 با تقسیم ناحیه سلول به نام استفاده مجدد فرکانس جزئی، تقسیم ناحیه سلول با سکتورینگ و استفاده مجدد فرکانس نرم را مطالعه [۱] و [۵] تا [۷] و همچنین اثر تمهیدات نوین پیش‌بینی شده در یک سیستم مبتنی بر OFDM چون LTE یا WiMax بر عملکرد برخی از این طرح‌ها (سکتوربندی و تقسیم ناحیه سلول با سکتوربندی) را بررسی خواهیم کرد. نمونه‌ای از این تمهیدات، پشتیبانی کانال‌های MIMO در سیستم‌های فوق است که در این مقاله از جنبه اثر آن در کنترل تداخل بین ناحیه‌ای مورد مطالعه قرار خواهد گرفت [۸] تا [۱۰].

استفاده از MIMO یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های تکنولوژیکی در حوزه مخابرات دیجیتال نوین است. سیستم MIMO امروزه به طور وسیعی در استانداردهای مبتنی بر OFDM مانند LTE و WiMax به منظور افزایش نرخ ارسال، پوشش و ظرفیت سل در نظر گرفته شده است. یک طرح مهم در این سیستم‌ها، ارسال هم‌زمان یک رشته داده بر روی آنتن‌های چندگانه با وزن‌های (pre-coding) مناسب است که به شکل دهی پرتو تشعشعی آنتن^۱ منجر می‌شود. این روش چنانچه وزن‌دهی آنتن‌ها با ضرایب مناسب صورت پذیرد (که خود به محل استقرار کاربر در سل بستگی دارد) می‌تواند باعث افزایش قدرت سیگنال، بالاخص در لبه‌های سلول‌های شبکه گردد [۱۱] و [۱۲].

بررسی اثر طرح‌های مختلف تخصیص فرکانسی ذکر شده و ترکیب سکتوربندی و تقسیم ناحیه سلول با پیش‌کدگذاری مرتبه یک بر روی احتمال قطع (بر حسب فاصله از مرکز سلول) و همچنین ظرفیت متوسط قابل پشتیبانی و احتمال قطع در یک شبکه سلولار مبتنی بر OFDM مانند LTE، هدف اصلی در این مقاله است. همچنین ما عملکرد برخی از طرح‌های فرکانسی را با استفاده از طرح پیش‌کدر که منجر به ایجاد اختلاف فاز بین سیگنال‌های ارسالی از دو آنتن در استاندارد LTE می‌شود، به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌دهیم.

ادامه مقاله به صورت زیر مرتب شده است. در بخش ۲، طرح‌های Reuse -1، Reuse -3، سکتوربندی، استفاده مجدد فرکانس جزئی، تقسیم ناحیه سلولی با سکتورینگ و همچنین طرح استفاده مجدد فرکانس

چکیده: با توجه به ورود شبکه‌های جدید در کشور از قبیل LTE و وایمکس که مبتنی بر OFDM می‌باشند، نیاز به تحقیق و پژوهش و همچنین بررسی عملکرد این شبکه‌ها، امری اجتناب‌ناپذیر است. در این مقاله ما به بررسی عملکرد طرح‌های تخصیص فرکانسی مختلف در یک شبکه LTE می‌پردازیم. ابتدا کارایی طرح‌های تخصیص فرکانسی از قبیل استفاده مجدد با ضریب ۱، استفاده مجدد با ضریب ۳، استفاده مجدد فرکانس جزئی، سکتوربندی، تقسیم ناحیه سلول و استفاده مجدد فرکانس نرم را بررسی می‌کنیم و سپس با ایجاد اختلاف فاز بین دو سیگنال ارسالی در یک کانال MISO در استاندارد LTE و ترکیب آن با برخی از این طرح‌ها مانند سکتوربندی و تقسیم ناحیه سلول همراه با سکتوربندی، تداخل را در چنین شبکه‌هایی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهیم. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که ایجاد اختلاف فاز بین سیگنال‌ها (که به آن طرح پیش‌کدگذاری مرتبه ۱ می‌گویند) در یک کانال MISO، به دلیل چرخش الگوی تشعشعی آنتن بسته به موقعیت کاربر متحرک و همچنین طرح استفاده مجدد فرکانس نرم به دلیل تخصیص کامل حامل‌های فرکانسی OFDM به هر سل و ارسال با توان کمتر برای کاربران مرکز سل، به بهره قابل ملاحظه‌ای در ظرفیت و تداخل کل شبکه در ترافیک‌های مختلف منجر می‌گردند.

کلید واژه: استفاده مجدد فرکانس، پیش‌کدگذاری، کنترل تداخل، OFDM، LTE

۱- مقدمه

استاندارد LTE یک واسط رادیویی با انعطاف‌پذیری بسیار بالا است که بررسی آن توسط GPP از اوایل سال ۲۰۰۵ شروع و در سال ۲۰۰۹ کامل شده است. البته این طرح که با هدف پشتیبانی نرخ ارسال داده تا ۱۰۰ Mbps برای Downlink و ۵۰ Mbps برای Uplink ارائه شده، نیازمند عرض باند وسیع و همچنین بهره‌وری مؤثر از این عرض باند می‌باشد. از این رو یکی از اهداف مهم در طراحی یک شبکه LTE، بهبود عملکرد در لبه سل به منظور حداکثر نمودن ظرفیت می‌باشد و در نتیجه مدیریت منابع فرکانسی در این سیستم‌ها بسیار مهم است [۱] و [۲]. می‌دانیم که استفاده مجدد فرکانس به بهره‌وری منابع در سیستم سلولار منجر می‌شود. البته این طرح به افزایش تداخل بالاخص در لبه‌های سلول و کاهش SINR و در نتیجه کاهش ظرفیت در این نواحی منجر خواهد شد. اگرچه استفاده از کلاستربندی مناسب و سکتوربندی در سیستم‌های سلولار فعلی (مانند GSM) تا حدی منجر به افزایش ظرفیت کانال یا کاهش تداخل بین سلولی می‌شود، اما با توجه به نرخ بالای ارسال در

این مقاله در تاریخ ۶ شهریور ماه ۱۳۹۲ دریافت و در تاریخ ۹ فروردین ماه ۱۳۹۳ بازنگری شد و توسط وزارت نیرو بر اساس قرارداد شماره ۱۳۵۷ پشتیبانی شده است. حمیدرضا میرسالاری، دانشکده مهندسی، گروه برق- الکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جامع شوشتر، شوشتر، (email: hr.mirsalari@gmail.com). ناصر ندا، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، شوکت‌آباد، بیرجند، (email: nneda@birjand.ac.ir)

طرح استفاده مجدد فرکانس با ضریب ۳ (Reuse-3) شامل تقسیم باند فرکانسی به سه زیرباند و تخصیص فقط یک زیرباند به یک سل است به طوری که سل‌های مجاور باندهای فرکانسی مختلفی را استفاده می‌کنند. این طرح منجر به تداخل کمی می‌شود و در واقع لبه سل‌ها به دلیل هم فرکانس نبودن از تداخل ایزوله هستند اما به دلیل این که در هر سل فقط از یک سوم باند فرکانسی استفاده می‌شود، ظرفیت کاهش و نرخ داده کم می‌شود [۱] و [۳]. (تمام دیتاهای مقاله به داده تبدیل شد)

۲-۲ سکتوربندی سل

تداخل هم کانال در یک سیستم سلولار می‌تواند با جایگزین کردن یک آنتن تمام‌جهته در ایستگاه پایه با چندین آنتن جهتی که هر کدام در یک سکتور مشخص تشعشع می‌کنند، کاهش یابد. در این روش، ضمن این که هر سلول عملاً از تمام باند فرکانسی استفاده می‌کند، تنها با بخشی از سلول‌های مجاور تداخل خواهد کرد. این تکنیک که منجر به کاهش تداخل و نیز افزایش عملکرد سیستم می‌شود را سکتوربندی سل می‌نامند. در این طرح تعداد کل حامل‌های موجود به ۳ قسمت تقسیم شده و هر قسمت به یک سکتور اختصاص می‌یابد [۱] و [۳].

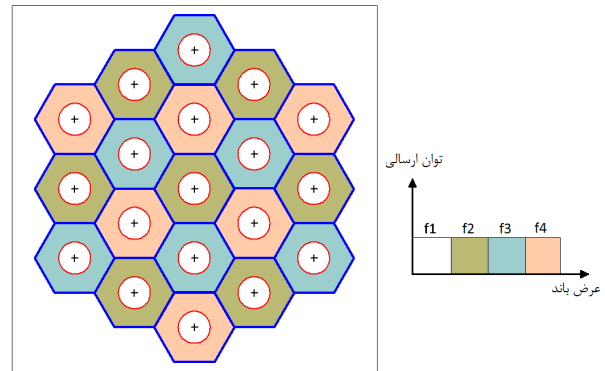
۲-۳ استفاده مجدد فرکانس جزئی

با توجه به نرخ بالای ارسال در سیستم‌های نوین، نیاز بیشتری به استفاده مجدد از فرکانس‌ها احساس می‌شود تا بتوان افزایش ترافیک، نرخ بالا و کیفیت سرویس‌دهی مطلوب را پشتیبانی کرد. بنابراین با توجه به تکنولوژی مورد استفاده در این سیستم‌ها، می‌توان طرح تخصیص فرکانسی را معرفی کرد که با تقسیم ناحیه تحت پوشش هر سل، از هر دو ویژگی استفاده مجدد فرکانس با ضریب ۱ در مرکز و استفاده مجدد فرکانس با ضریب ۳ در لبه سل استفاده کند. این طرح استفاده مجدد فرکانس جزئی نام دارد.

یک طرح استفاده مجدد فرکانس جزئی مبتنی بر تقسیم‌بندی استفاده مجدد فرکانس است. در تقسیم‌بندی استفاده مجدد، کاربران با کیفیت سیگنال بالا یک ضریب استفاده مجدد پایین استفاده می‌کنند، در حالی که کاربران با SINR پایین یک ضریب استفاده مجدد بالاتری استفاده می‌کنند. طرح استفاده مجدد فرکانس جزئی همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده از یک استفاده مجدد فرکانس کلی (Reuse-1) برای کاربران مرکز سل استفاده می‌کند، در حالی که از Reuse-3 برای کاربران لبه سل استفاده می‌کند. در این طرح، کل منبع فرکانسی به چهار قسمت به نام f_1 ، f_2 ، f_3 و f_4 تقسیم می‌شود و توان ارسال در تمام فرکانس یکسان می‌باشد. منبع فرکانسی f_1 در همه سل‌ها برای خدمات به کاربرانی که SINR خوبی دارند (مرکز سل)، استفاده می‌شود. یک استفاده مجدد فرکانس با ضریب سه (Reuse-3) روی سه قسمت دیگر منبع f_2 ، f_3 و f_4 انجام می‌شود [۱] و [۴].

۲-۴ تقسیم ناحیه سل

در این طرح [۱] و [۹]، ناحیه تحت پوشش هر سل و عرض باند کل (کل حامل‌های OFDM موجود) به دو قسمت بیرونی و داخلی تقسیم می‌شود. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، عرض باند داخلی به ناحیه داخلی هر سکتور اختصاص می‌یابد اما عرض باند بیرونی به سه زیرباند تقسیم و هر زیرباند به یک سکتور اختصاص می‌یابد. به هر کاربر بسته به موقعیتش یک یا چند کانال از باند بیرونی و یا داخلی اختصاص داده می‌شود.



شکل ۱: استفاده مجدد فرکانس جزئی.

نرم و تکنیک شکل‌دهی پرتو آنتن مرتبه ۱ (مطابق استاندارد LTE) معرفی می‌شوند. در بخش ۳، معیارهای مقایسه طرح‌های مورد مطالعه چون SIR، احتمال قطع و ظرفیت مکانی و متوسط، فرمول‌بندی می‌گردند. در بخش ۴ با استفاده از نتایج شبیه‌سازی به مقایسه طرح‌های تخصیص فرکانس مختلف معرفی شده در قسمت‌های پیشین و به ترکیب برخی از آنها با پیش‌کدگذاری مرتبه ۱ می‌پردازیم و در نهایت نتیجه‌گیری در بخش ۵ ارائه می‌شود.

۲- طرح‌های تخصیص فرکانس

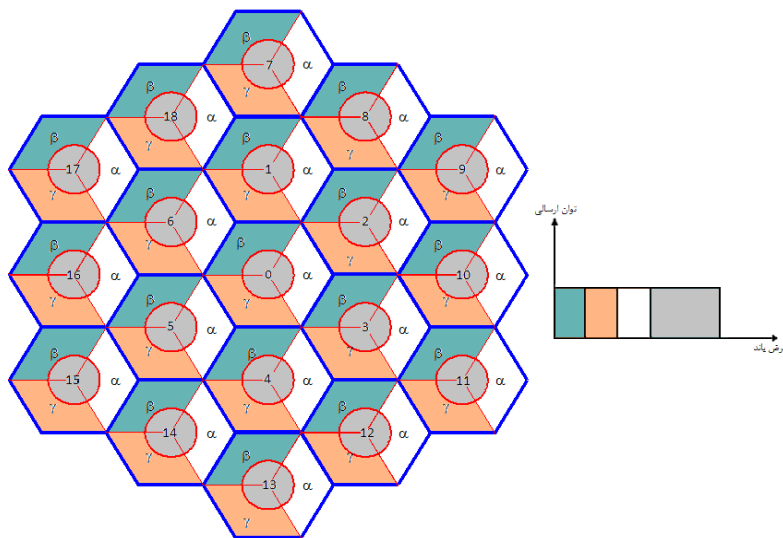
انتقال رادیویی Downlink در سیستم‌هایی چون LTE و WiMax با ارسال داده بر روی تعداد زیادی زیرحامل باند باریک و موازی در پیکربندی OFDM انجام می‌شود. با توجه به استفاده از زیرحامل‌های باند باریک در ترکیب با باند محافظ CP^۱، انتقال OFDM ذاتاً در برابر پراکندگی زمانی در کانال رادیویی بدون نیاز به یک گیرنده پیچیده و پیشرفته مقاوم است. این ویژگی باعث سادگی پردازش باند پایه در گیرنده و در نتیجه کاهش هزینه ترمینال و مصرف توان می‌شود.

از آنجا که CP در هر ناحیه به منظور جبران پراکندگی زمانی همان ناحیه طراحی و در هر سمبل OFDM تزریق می‌شود، کاربرهای موجود در یک ناحیه با وجود هم‌پوشانی فرکانسی بر هم تداخلی ندارند، اما هر کانال فرکانسی متعلق به یک دسته فرکانسی مشخص از هر ناحیه، می‌تواند بر روی تمام حامل‌های فرکانسی از همان دسته در نواحی دیگر تداخل نماید، مگر این که با طراحی مناسب شکل نواحی یا الگوی پوشش آنتن‌ها، این تداخل کنترل گردد [۸] تا [۱۰]. در این بخش به معرفی طرح‌های تخصیص فرکانسی مختلف و همچنین معرفی تکنیک پیش‌کدر با مرتبه ۱ (شکل‌دهی پرتو در ارسال) می‌پردازیم.

۲-۱ استفاده مجدد فرکانس با ضرایب ۱ و ۳

ساده‌ترین طرح برای تخصیص فرکانس‌ها در یک شبکه سلولار، استفاده از یک ضریب استفاده مجدد ۱ می‌باشد. در طرح استفاده مجدد فرکانس با ضریب ۱ (Reuse-1) همه سل‌ها روی کانال فرکانسی یکسانی عمل می‌کنند. بنابراین از تمام باند فرکانسی در هر سل استفاده می‌شود و بهره‌وری کاملی از طیف فرکانس دارد، از این رو دارای نرخ داده بالایی می‌باشد. در حقیقت به دلیل هم فرکانس بودن سل‌ها، تداخل هم کانال بسیار زیاد می‌باشد، در نتیجه کاربران در لبه سل‌ها افت زیادی در کیفیت سیگنال دریافتی تحمل می‌کنند و ممکن است به دلیل تداخل زیاد اتصال قطع شود.

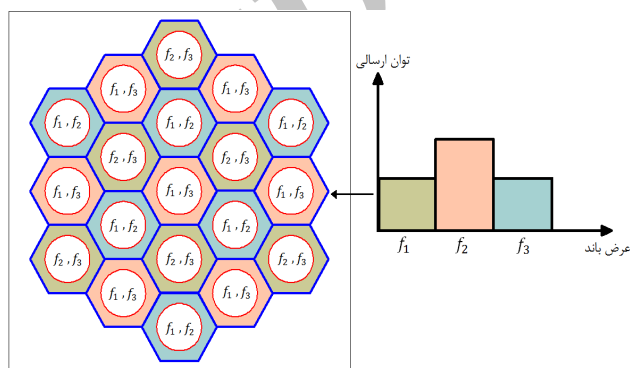
1. Cyclic Prefix



شکل ۲: تقسیم ناحیه سل.

۲-۵ استفاده مجدد فرکانس نرم

در طرح‌های استفاده مجدد فرکانس جزئی، سکتورینگ و همچنین ترکیب هر دو (تقسیم سلولی با سکتورینگ) متوجه شدیم که از همه منابع فرکانسی در یک سل استفاده نمی‌شود. در استفاده مجدد فرکانسی نرم، از تمام منابع فرکانسی در یک سل استفاده می‌شود. برای استفاده مجدد فرکانسی نرم، همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده، منابع فرکانسی به سه بخش f_1 ، f_2 و f_3 تقسیم می‌شوند. از سمت راست، سل وسطی در لبه سل که SINR پایین است (قسمت نارنجی) از منابع فرکانسی f_2 استفاده می‌کند و در مرکز سل که SINR بالا است، از منابع فرکانسی f_1 و f_3 استفاده می‌کند.



شکل ۳: استفاده مجدد فرکانسی نرم.

چون همه منابع فرکانسی در یک سل استفاده می‌شوند مشابه α -Reuse است، لذا کاربران لبه سل تداخل زیادی را تجربه می‌کنند. به منظور کاهش تداخل برای کاربران لبه سل در سل‌های همسایه، یک توان ارسالی پایین در باند فرکانسی برای کاربران مرکز سل استفاده می‌شود. توجه کنید که منبع فرکانسی استفاده شده برای کاربران مرکز سل در یک سل برای کاربران لبه سل‌های همسایه استفاده می‌شود [۱] و [۵] تا [۷].

این نوع تخصیص توان در استفاده مجدد فرکانسی نرم، SINR لبه سل را بهبود می‌دهد در حالی که SINR برای کاربران مرکز سل پایین می‌آید. انتظار می‌رود که چون کاربران لبه سل SINR کمتری تجربه می‌کنند، عملکرد تقریباً به صورت خطی با SINR افزایش یابد. تخصیص منابع برای کاربران لبه و مرکز سل در هر دو طرح استفاده مجدد جزئی و نرم می‌تواند بر اساس بار ترافیک و دیگر شرایط شبکه تغییر کند.

۲-۶ شکل‌دهی پرتو در ارسال با چندگانگی فضایی حلقه

بسته (CLSM) مرتبه ۱

استفاده از MIMO در مخابرات دیجیتال یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های تکنولوژیکی در حوزه مخابرات دیجیتال است. تکنولوژی‌های MIMO به طور وسیعی جهت استفاده در سیستم‌های مبتنی بر OFDM مانند LTE و WiMax پیشنهاد شده‌اند.

شکل‌دهی پرتو یکی از مفاهیم کلیدی در سیستم‌های MIMO است که توسط آن SINR متوسط از طریق تمرکز انرژی در جهت کاربر مورد نظر و کاهش گین در جهت کاربرهای تداخل‌کننده به دست می‌آید. در

به عنوان نمونه، شبکه نشان داده شده در شکل ۲ از ۱۹ سلول تشکیل گردیده که مثلاً برای ناحیه داخلی سکتور α در سل شماره صفر (سل مرجع)، ناحیه داخلی ۷ سکتور α متعلق به سل‌های شماره $\{5, 6, 14, 15, 16, 17, 18\}$ ، ناحیه داخلی ۶ سکتور β ، متعلق به سل‌های شماره $\{3, 4, 10, 11, 12, 13\}$ و ناحیه داخلی ۶ سکتور γ ، متعلق به سل‌های شماره $\{1, 2, 7, 8, 9, 10\}$ تداخل می‌کنند. از آنجا که مراکز سل‌ها در شبکه همواره از هم فاصله دارند، کاربران در این نواحی SINR بالایی را تجربه خواهند کرد و لذا می‌توان برای آنها مجموعه حامل‌های با ضریب تکرار ۱ در نظر گرفت. همچنین برای ناحیه بیرونی سکتور α در سل شماره صفر (سل مرجع)، ناحیه بیرونی ۷ سکتور α ، متعلق به سل‌های شماره $\{5, 6, 14, 15, 16, 17, 18\}$ تداخل می‌کنند.

تقسیم جغرافیایی هر ناحیه، تابعی از شعاع r ناحیه داخلی است و تقسیم عرض باند نیز با توجه به نسبت مساحت‌ها انجام می‌شود. بنابراین $W_{out} = (1-Q)W/3$ و $W_{in} = (WQ)/3$ به ترتیب عرض باند تخصیص داده شده به ناحیه داخلی و بیرونی هر سکتور را نشان می‌دهد و Q نسبت مساحت ناحیه داخلی به مساحت کل را بیان می‌کند.

برای به حداکثر رساندن ظرفیت، شعاع بهینه r^* و ضریب تخصیص عرض باند Q^* را به دست می‌آوریم. از آنجا که احتمال قطع (P_{Outage}) سیستم تابعی از r و Q است، بنابراین r^* و Q^* به صورت زیر به دست می‌آیند [۹]

$$r^*, Q^* = \arg \min_{r, Q} [P_{Outage}(r, Q)] \quad (1)$$

$$0 < r \leq 1, \quad 0 < Q \leq 1$$

جدول ۱: ماتریس پیش‌کدر مرتبه ۱ در LTE [۱۲].

$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	ماتریس پیش‌کدر
-۹۰	۹۰	۱۸۰	۰	اختلاف فاز $\phi(i)$
۴	۳	۲	۱	شماره پیش‌کدر i

جدول ۲: محدوده زاویه‌ای بیشترین توان برای هر یک از پیش‌کدهای معرفی شده در جدول ۱.

محدوده زاویه	تا ۴۸	تا ۱۵	تا -۱۵	تا -۴۸	تا -۶۰
نسبت به پرتو	۶۰	۴۸	۱۵	-۱۵	-۴۸
میانی (درجه)	۲	۴	۱	۳	۲
ماتریس پیش‌کدر	۲	۴	۱	۳	۲

همان‌طور که مشاهده می‌شود، می‌توان دریافتی توسط هر کاربر بر روی هر حامل فرکانسی OFDM به محل آن کاربر و همچنین نوع پیش‌کدینگ استفاده شده برای آن کاربر بستگی دارد. توجه کنید که الگوی پرتو به فاصله بین دو آنتن ارسالی در ایستگاه پایه نیز بسیار حساس می‌باشد. برای فاصله‌های کم بین دو آنتن (حدود 0.5λ)، سیگنال‌های ارسالی از دو آنتن هم‌بستگی زیادی خواهند داشت ($k=0.5$) و الگوی توان تشعشعی بر حسب α تغییرات کمی خواهد داشت [۱۰].

نمایی از الگوی زاویه‌ای توزیع توان برای فاصله‌های کم دو آنتن فرستنده و چهار پیش‌کدر معرفی شده در جدول ۱ در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنین جدول ۲، شماره هر پیش‌کدر و محدوده زاویه‌ای حول نیم‌ساز هر سکتور که توان تشعشعی حاصل از آن از سایر پیش‌کدها بیشتر است را نشان می‌دهد. کاربر متحرک می‌تواند با محاسبه SIR، بهترین پیش‌کدر را انتخاب و ماتریس پیش‌کدر دلخواه و کیفیت کانال را به ایستگاه پایه گزارش نماید.

اگر عرض ناحیه‌ای که بهترین بهره توان توسط یک پیش‌کدینگ خاص حاصل می‌شود، زیاد باشد (همانند جدول ۲ برای فاصله نصف طول موج بین دو آنتن فرستنده)، آن‌گاه یک موبایل حتی در سرعت‌های بالا نیز همچنان در ناحیه بهترین پوشش قرار داشته و توان مطلوبی را دریافت می‌کند. بنابراین مکانیزم چندگانگی فضایی حلقه بسته مرتبه ۱ در محیطی با هم‌بستگی بالا (فاصله کم بین آنتن‌های فرستنده) در محدوده وسیعی از سرعت کاربر، حتی با فیدبک نرخ پایین قابل کاربرد است.

۳- معیارهای مقایسه کارایی طرح‌های تخصیص فرکانس

۳-۱ نسبت سیگنال به تداخل (SIR)

تلفات مسیر بین یک موبایل که در موقعیت s از یک ایستگاه پایه قرار دارد به صورت زیر بیان می‌شود

$$L = d^{-n} \cdot 10^{\frac{\xi}{10}} = d^{-n} \chi \quad (3)$$

در (۳)، n شاخص تلفات مسیر $n \in [2, 4]$ ، d فاصله بین کاربر تا ایستگاه پایه و ξ یک متغیر تصادفی با توزیع گوسی با متوسط صفر و انحراف معیار σ است که نشان‌دهنده Shadowing می‌باشد و لذا χ یک متغیر تصادفی lognormal است.

همان‌طور که در شکل‌های ۱ تا ۳ آمده، دو حالت کلی با توجه به محل کاربر می‌توان در نظر گرفت. در حالت اول، کاربر در ناحیه داخلی از سل یا سکتور قرار دارد و در حالت دوم، کاربر در ناحیه بیرونی از سل یا



شکل ۴: شکل‌دهی پرتو در ارسال بسته به زاویه هر کاربر (CLSM با مرتبه ۱).

این طرح آنتن‌ها با فاصله کمی (در حدود نصف طول موج) نسبت به هم قرار گرفته‌اند [۱۰] و [۱۱].

در LTE، چندگانگی فضایی حلقه بسته CLSM شامل ارسال هم‌زمان یک یا دو رشته داده توسط دو آنتن از ایستگاه پایه به موبایل است [۱۲]. ارسال هم‌زمان یک رشته داده را CLSM با مرتبه ۱ و ارسال دو رشته داده را CLSM با مرتبه ۲ می‌نامند که البته استفاده از هر یک بستگی به شرایط کانال دارد. ما در این مقاله تنها به بررسی CLSM مرتبه ۱ از حیث بهره‌ای که در کنترل SIR در برخی از طرح‌های تخصیص فرکانسی فوق ایجاد می‌کند، می‌پردازیم.

CLSM مرتبه ۱ با شکل‌دادن پرتو آنتن در ارسال انجام می‌شود. دو سمبل ارسالی بر روی هر آنتن و هر کانال OFDM با اختلاف فاز مشخصی نسبت به هم ارسال می‌شوند. اختلاف فاز بین دو داده ارسالی می‌تواند ۰، ۹۰، ۱۸۰ یا ۲۷۰ درجه باشد. این اختلاف فازها می‌توانند منجر به تشکیل چهار پرتو مختلف در ایستگاه پایه شوند که هر موبایل بسته به موقعیتش (زاویه نسبت به پرتو اصلی آنتن) یکی از چهار پرتو را انتخاب می‌کند. این اختلاف فاز با انتخاب یکی از چهار ماتریس پیش‌کدر مطابق جدول ۱ ایجاد می‌شود [۱۲]. بین ایستگاه پایه و موبایل یک فیدبک نرخ پایین برقرار است که نوع ماتریس پیش‌کدر را برای موبایل ارسال می‌کند و بنابراین موبایل می‌داند که چه پیش‌کدوری را استفاده کند.

اگر فرض کنیم که فاصله فرستنده و گیرنده زیاد باشد، لذا مسیرها در تقریب اول موازی و تلفات یکسانی دارند. با توجه به این که سیگنال ارسالی باند باریک است، همه مؤلفه‌های فرکانسی آن یک اندازه اختلاف فاز می‌بینند و در این صورت سیگنال در هر مسیر در ضریب همان مسیر ضریب می‌شود.

به راحتی می‌توان نشان داد که توان دریافتی توسط کاربر راه دور با جمع برداری میدان‌های الکتریکی منتشر شده توسط دو آنتن و با احتساب اختلاف فاز ناشی از اختلاف مسیر سیگنال منتشر شده و همچنین اختلاف فاز ناشی از پیش‌کدینگ‌های اعمال شده با (۲) تعریف می‌شود

$$P(i) \propto P^* G^*(\alpha) (1 + \cos(2\pi k \sin(\alpha) + \phi(i)))^2 \quad (2)$$

که i نوع ماتریس پیش‌کدر، P توان کل ارسالی هر دو آنتن، $k\lambda$ فاصله بین آنتن‌ها (λ طول موج انتقال و k یک عدد ثابت) و α زاویه بین پرتو اصلی آنتن و محل کاربر است. همچنین $G(\alpha)$ گین آنتن در زاویه α به پرتو اصلی را نشان می‌دهد و $\phi(i)$ اختلاف فاز ایجادشده توسط ماتریس پیش‌کدر را بیان می‌کند.

مکانی و احتمال قطع مکانی سیستم را بر حسب فاصله از آنتن پایه (r) نشان می‌دهند. در واقع یک نوع متوسط‌گیری مکانی در هر ناحیه داخلی و خارجی با توجه به فاصله کاربر انجام می‌شود

$$\begin{cases} C_i = \sum_{r \in R_i} C(r) \cdot \frac{\gamma \pi r}{R_i} \cdot \Delta r \\ C_o = \sum_{r \in R_o} C(r) \cdot \frac{\gamma \pi r}{R_o} \cdot \Delta r \end{cases} \Rightarrow C_{\text{overall}} = C_i \frac{W_{\text{in}}}{W} + C_o \frac{W_{\text{out}}}{W} \quad (۸)$$

و همچنین

$$\begin{cases} P_i = \sum_{r \in R_i} P(r) \cdot \frac{\gamma \pi r}{R_i} \cdot \Delta r \\ P_o = \sum_{r \in R_o} P(r) \cdot \frac{\gamma \pi r}{R_o} \cdot \Delta r \end{cases} \Rightarrow P_{\text{overall}} = P_i + P_o \quad (۹)$$

۴- نتایج شبیه‌سازی

برای مقایسه روش‌های معرفی‌شده در تخصیص فرکانس و کنترل تداخل، یک شبکه سلولار LTE را با ۱۹ سل در نظر می‌گیریم. فرض شده که همه موبایل‌ها با چگالی احتمال یکنواخت روی شبکه سلولار توزیع شده‌اند و هر ایستگاه پایه توان یکسانی به همه کاربران اختصاص می‌دهد و همچنین ۱۰۲۴ کانال OFDM در دسترس است و بار ترافیکی هر سل ۵۰٪ ترافیک کل می‌باشد.

در این شبیه‌سازی، عرض باند فرکانسی ۱۰ MHz، نرخ ارسال بر روی هر کانال OFDM، $R = 15 \text{ kbps}$ و ترشلد $\delta = 4 \text{ dB}$ در نظر گرفته شده است. شعاع نرمالیزه‌شده ناحیه داخلی و بهره آنتن را نیز به ترتیب $r = 0.5$ و $G(\alpha) = 1$ در نظر می‌گیریم. همچنین انحراف معیار ξ برای سیگنال‌های تداخلی از سلول‌های مجاور برابر ۸ dB و برای سیگنال‌های سلول مرجع برابر ۲٫۵ dB فرض شده است.

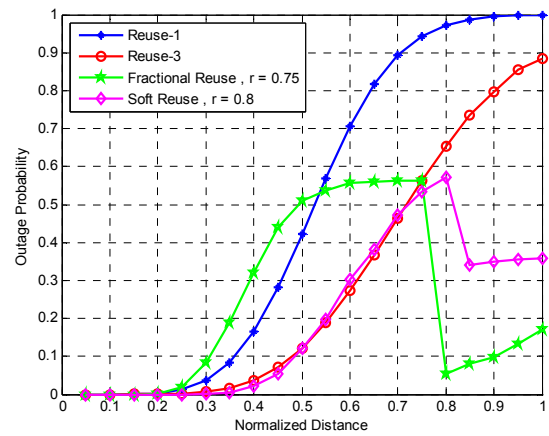
ابتداءً، طرح‌های فرکانسی Reuse-۱، Reuse-۳، استفاده مجدد فرکانس جزئی و استفاده مجدد فرکانس نرم را با توجه به فاصله کاربر از ایستگاه پایه و همچنین افزایش بار ترافیکی با یکدیگر مقایسه می‌کنیم. سپس طرح‌های سکوت‌ریندی، تقسیم ناحیه سلول و تقسیم ناحیه سل همراه با شکل‌دهی پرتو در ارسال را از نظر فاصله کاربر تا ایستگاه پایه با یکدیگر مقایسه می‌کنیم و همچنین عملکرد کلی هر طرح را با توجه به افزایش بار ترافیکی ارزیابی خواهیم کرد.

۴-۱ مقایسه طرح‌های Reuse-۱، Reuse-۳، استفاده

مجدد فرکانس جزئی و استفاده مجدد فرکانس نرم

۴-۱-۱ اثر فاصله از ایستگاه پایه بر کارایی

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، احتمال قطع (با (۶) و (۷)) تمامی طرح‌های ذکرشده در نواحی نزدیک به ایستگاه پایه به دلیل SIR بالا صفر است. اما با فاصله از ایستگاه پایه احتمال قطع شدن سیگنال دریافتی در هر طرح افزایش می‌یابد. طرح استفاده مجدد فرکانس با ضریب ۱ در لبه‌های سل که SIR پایین است (به دلیل هم فرکانس بودن تمام سل‌ها و فاصله از مرکز سل)، بدترین عملکرد را دارد. همچنین طرح استفاده مجدد فرکانس با ضریب ۳ نیز در لبه سل احتمال قطع بهتری نسبت به ضریب ۱ دارد (سل‌های همسایه هم فرکانس نیستند) ولی به دلیل این که فاصله از ایستگاه پایه زیاد می‌شود و توان یکسان است، باز احتمال قطع نسبتاً بالایی دارد.



شکل ۵: احتمال قطع طرح‌های تخصیص فرکانس مختلف بر حسب فاصله از ایستگاه پایه.

سکتور واقع شده است. کمیت E_b/I (انرژی بیت به قدرت تداخل برای m امین کاربر در شبکه) در دو حالت به ترتیب در (۴) و (۵) بیان شده است

$$\left(\frac{E_b}{I}\right)_m = \frac{\frac{P.L_{(s,j)}}{R}}{\sum_{j=1}^K n_j \frac{P.L_{(s,j)} \cdot \text{Block_Source}}{W_{\text{in}}}} \geq \delta \quad (۴)$$

و به طور مشابه برای حالت دوم

$$\left(\frac{E_b}{I}\right)_m = \frac{\frac{P.L_{(s,i)}}{R}}{\sum_{j=1}^K n_j \frac{P.L_{(s,j)} \cdot \text{Block_Source}}{W_{\text{out}}}} \geq \delta \quad (۵)$$

در روابط فوق، Block_Source تعداد زیرحامل‌های اختصاص داده شده به هر کاربر، P توان تخصیصی به هر کانال فرکانسی OFDM، n_j تعداد کاربران تداخل‌کننده در z امین سل تداخل‌کننده، K تعداد سل‌های تداخل‌کننده، $L_{(s,i)}$ تلفات مسیر بین کاربر در موقعیت s و i امین ایستگاه پایه و $L_{(s,j)}$ تلفات مسیر بین کاربر در موقعیت s و j امین ایستگاه پایه تداخل‌کننده می‌باشد. همچنین R نرخ ارسال بر روی هر کانال OFDM و δ ترشلد سیگنال به تداخل (E_b/I) مطلوب را بیان می‌کند. از اثر نویز صرف نظر شده است.

۳-۲ احتمال قطع

با توجه به (۴) و (۵)، احتمال قطع در ناحیه داخلی و بیرونی را به صورت زیر مشخص می‌کنیم

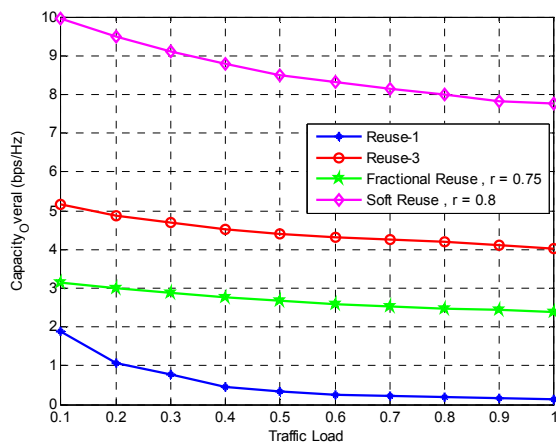
$$P_{\text{outage}_{\text{in}}} = P\left[\left(\frac{E_b}{I}\right)_m \leq \delta\right] \times P[x \in R_i] \quad (۶)$$

و

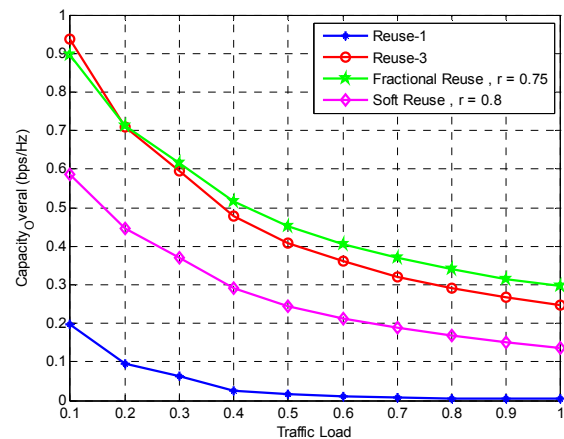
$$P_{\text{outage}_{\text{out}}} = P\left[\left(\frac{E_b}{I}\right)_m \leq \delta\right] \times P[x \in R_o] \quad (۷)$$

در (۶) و (۷)، R_i مساحت ناحیه داخلی و R_o مساحت ناحیه بیرونی را نمایش می‌دهد.

بدین ترتیب ظرفیت کل و احتمال قطع کل سیستم به ترتیب در (۸) و (۹) تعریف می‌شوند. در این روابط $C(r)$ و $P(r)$ به ترتیب ظرفیت



شکل ۷: ظرفیت طرح‌های تخصیص فرکانس مختلف برای یک کاربر در مرکز سل.



شکل ۶: ظرفیت طرح‌های تخصیص فرکانس مختلف برای یک کاربر در لبه سل.

پایه کم می‌باشد، تعداد کاربران و سل‌های تداخل‌کننده در تعیین میزان ظرفیت قابل پشتیبانی بسیار مؤثر است.

طرح فرکانس نرم به دلیل کاهش تعداد کاربران تداخل‌ناشی از ارسال نصف توان برای کاربران مرکز سل، بهره‌وری بیشتر از عرض باند و کاهش کاربران تداخل‌کننده نسبت به طرح‌های دیگر بهترین عملکرد را دارد. اما طرح Reuse-1 با وجود این که بهترین بهره‌وری از عرض باند را دارد، ولی به دلیل افزایش بیش از حد کاربران و سل‌های تداخل‌کننده عملکرد پایینی دارد. طرح Reuse-3 تعداد سل‌های تداخل‌کننده کمتری و درصد عرض باند بیشتری را نسبت به فرکانس جزئی (که همه سل‌ها با ناحیه داخلی آن تداخل می‌کنند) دارد، از این رو ظرفیت بیشتری را پشتیبانی می‌کند.

ج) عملکرد کلی

شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب احتمال قطع کل و ظرفیت کل (با استفاده از (۸) و (۹)) طرح‌های تخصیص فرکانس مختلف را بر حسب افزایش بار ترافیکی نشان می‌دهند. همان‌طور که انتظار می‌رود در شکل ۸، طرح Reuse-1 به دلیل افزایش تداخل ناشی از هم فرکانس بودن سل‌های مجاور و افزایش تعداد سل‌ها و کاربران تداخل‌کننده بیشترین احتمال قطع را دارد، ولی طرح Reuse-3 به دلیل هم‌فرکانس نبودن سل‌های همسایه و کاهش سل‌های تداخل‌کننده دارای کمترین احتمال قطع می‌باشد.

طرح فرکانس نرم در بارهای ترافیکی پایین به دلیل بهره‌وری کامل از عرض باند و فاصله کم نواحی هم‌فرکانس احتمال قطع بیشتری نسبت به طرح فرکانس جزئی دارد، اما در بارهای ترافیکی سنگین (افزایش کاربران تداخل‌کننده در هر ناحیه) درصد پایین عرض باند مصرفی در طرح فرکانس جزئی، منجر به افزایش احتمال قطع نسبت به فرکانس نرم (به دلیل ارسال با نصف توان برای کاربران مرکزی) می‌شود.

در شکل ۹ طرح استفاده مجدد فرکانس جزئی در بارهای ترافیکی پایین ظرفیت بیشتری را نسبت به Reuse-3 دارد اما با افزایش بار ترافیکی تعداد کاربران تداخل‌کننده افزایش و ظرفیت در طرح فرکانس جزئی به دلیل استفاده از فرکانس‌های مشترک در نواحی مرکزی سل کاهش می‌یابد که تقریباً با Reuse-3 برابر می‌شود. طرح‌های فرکانس نرم و Reuse-1 به دلیل بهره‌وری کامل از عرض باند در هر سل، ظرفیت بیشتری را نسبت به دو طرح Reuse-3 و فرکانس جزئی که از عرض باند به طور کامل استفاده نمی‌کنند، دارند. در واقع، طرح فرکانس نرم با کنترل توان ارسالی عملکرد بهتری نسبت به طرح Reuse-1 ایجاد می‌کند و ظرفیت متوسط شبکه را حدود ۲۶/۵٪ نسبت به طرح Reuse-1 افزایش می‌دهد.

همچنین مشاهده می‌شود که طرح‌های استفاده مجدد فرکانس نرم و جزئی در لبه‌های سل عملکرد بهتری نسبت به Reuse-1 و Reuse-3 دارند که این به دلیل کاهش تعداد کاربران تداخل‌کننده ناشی از تقسیم ناحیه سلولی و همچنین تخصیص ندادن توان یکسان به کاربران است. طرح استفاده مجدد فرکانس جزئی به دلیل بهره‌وری از طرح Reuse-3 (ایزوله از تداخل در لبه) در لبه سل بهترین عملکرد را در لبه سل دارد ولی از تمام عرض باند در یک سل استفاده نمی‌کند اما استفاده مجدد فرکانس نرم با توجه به استفاده از تمام عرض باند در سل و تخصیص توان کمتر به کاربران مرکزی احتمال قطع قابل قبولی دارد.

۴-۱-۲ اثر بار ترافیکی بر کارایی

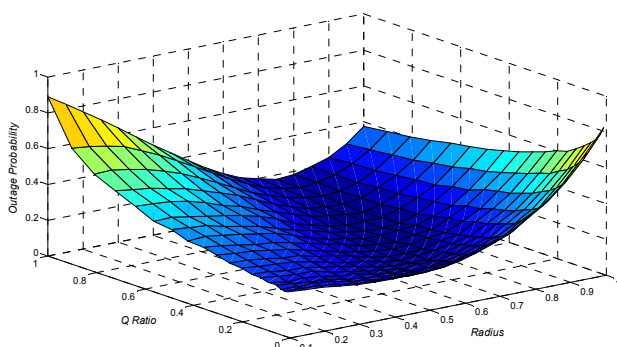
در این قسمت ابتدا ظرفیت طرح‌های ذکر شده بالا را با توجه به افزایش بار ترافیکی برای یک کاربری که در لبه و مرکز سل قرار دارد، بررسی و مقایسه می‌کنیم. سپس احتمال قطع و ظرفیت متوسط (متوسط بر روی تمام نواحی و کاربرها) هر طرح را با توجه به (۸) و (۹) بر حسب درصد افزایش بار ترافیکی شبکه مقایسه می‌کنیم.

الف) ظرفیت در لبه سل

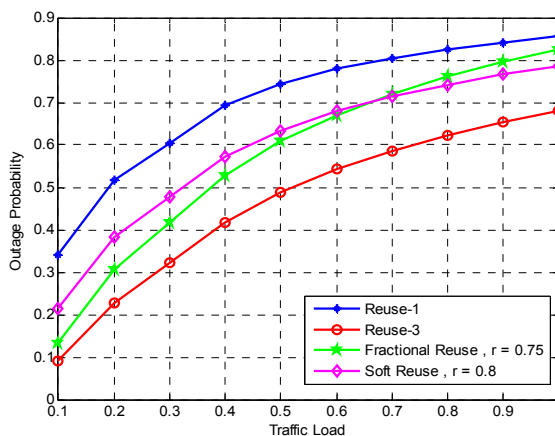
برای یک کاربر که در لبه سل قرار دارد، ظرفیت ناشی از هر طرح تخصیص فرکانس با توجه به افزایش بار ترافیکی شبکه در شکل ۶ آمده و همان‌طور که نشان داده شده، طرح Reuse-1 به دلیل ایزوله‌نبودن لبه از تداخل (استفاده از تمامی فرکانس‌ها در هر سل) در نواحی کناری سل (فاصله زیاد از ایستگاه پایه) بدترین عملکرد را دارد و با افزایش بار شبکه ظرفیت صفر می‌شود. طبیعتاً طرح‌های Reuse-3 و فرکانس جزئی به دلیل هم فرکانس نبودن لبه سل‌های مجاور بیشترین ظرفیت قابل پشتیبانی را دارند. با افزایش بار ترافیکی، طرح فرکانس جزئی به دلیل تعداد کاربر تداخلی کمتر و بهره‌وری بیشتر از فرکانس نسبت به Reuse-3 عملکرد بهتری نیز دارد. همچنین طرح استفاده مجدد فرکانسی نرم با توجه به این که لبه هر سل با مرکز سل‌های مجاور هم‌فرکانس است ولی توانی نصف توان تخصیص به کاربران لبه سل در مرکز استفاده می‌شود، عملکرد تقریباً مناسبی (بهره‌وری کامل از عرض باند در هر سل) دارد.

ب) ظرفیت در مرکز سل

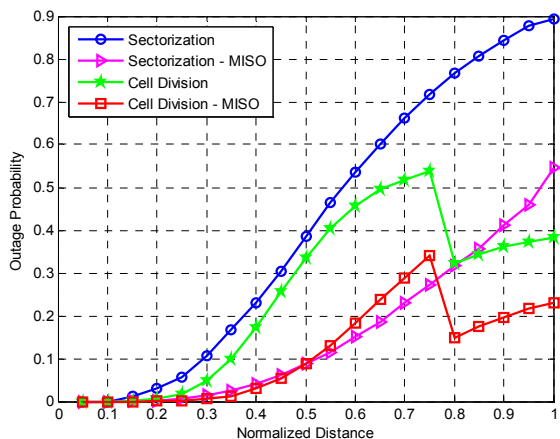
در شکل ۷ ظرفیت برای یک کاربر در مرکز سل بر اساس طرح‌های فرکانسی مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که قبلاً بیان کردیم، ظرفیت از عرض باند تخصیصی، تعداد کاربران تداخل‌کننده، تعداد سل‌های تداخل‌کننده و فاصله تأثیر می‌پذیرد. بنابراین از آنجا که یک کاربر در مرکز سل SIR بالایی را تجربه می‌کند و فاصله‌اش تا ایستگاه



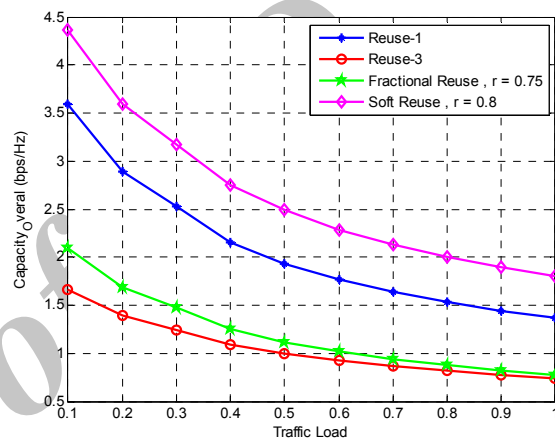
شکل ۱۰: احتمال قطع با توجه به Q و r .



شکل ۸: احتمال قطع کل طرح‌های تخصیص فرکانس مختلف با توجه به افزایش بار ترافیکی.



شکل ۱۱: احتمال قطع با توجه به فاصله کاربر از ایستگاه پایه.



شکل ۹: ظرفیت کل طرح‌های تخصیص فرکانس مختلف با توجه به افزایش بار ترافیکی.

۴-۲-۱ اثر فاصله از ایستگاه پایه بر کارایی

همان طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، طرح تقسیم ناحیه سل احتمال قطع کمتری نسبت به سکتورینگ ایجاد می‌کند، به ویژه در لبه سل که SIR کم است. اما احتمال قطع (با (۶) و (۷)) در طرح تقسیم سل به همراه تکنیک CLSM مرتبه ۱ (به دلیل چرخش بیم اصلی آنتن با ایجاد اختلاف فاز بین سیگنال‌های ارسالی از هر آنتن) به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. البته در نواحی نزدیک به ایستگاه پایه که احتمال قطع تقریباً صفر است، طرح‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای نسبت به هم نشان نمی‌دهند.

نتایج نشان می‌دهد که طرح تقسیم ناحیه سل با استفاده از تکنیک چندگانگی فضایی حلقه بسته با مرتبه ۱ به ویژه در نواحی که SIR پایین است، عملکرد بهتری نسبت به تقسیم ناحیه سل و سکتورینگ معمولی دارد.

۴-۲-۲ اثر بار ترافیکی بر کارایی

در این قسمت احتمال قطع و ظرفیت متوسط (متوسط بر روی تمام نواحی و کاربرها) هر طرح را با توجه به (۸) و (۹) بر حسب درصد افزایش بار ترافیکی شبکه برای طرح‌های تخصیص فرکانس مختلف (سکتوربندی و تقسیم ناحیه سلولی) همراه با تکنیک CLSM مرتبه ۱ بررسی و مقایسه می‌کنیم.

احتمال قطع و ظرفیت متوسط (متوسط بر روی تمام نواحی و کاربرها) بر حسب درصد بار ترافیکی شبکه به ترتیب در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده‌اند. همان طور که دیده می‌شود، در همه طرح‌ها احتمال قطع با افزایش ترافیک شبکه افزایش می‌یابد اما کاهش سرعت رشد احتمال قطع در ترکیب طرح تقسیم سل با تکنیک پیش‌کدکنندگی مناسب کاملاً

با توجه به نتایج شبیه‌سازی انجام‌شده در این قسمت می‌توان نتیجه گرفت که در یک شبکه سلولار نوین که مبتنی بر OFDM است، با استفاده از قابلیت‌های این سیستم‌ها می‌توان ناحیه تحت پوشش هر سل را تقسیم‌بندی کرده و از تمام عرض باند فرکانسی در هر سل استفاده کرد. در واقع با استفاده از تقسیم ناحیه سلولی و الگوریتم کنترل توان ارسالی ایده‌آل می‌توان بهره‌وری بیشتری از عرض باند با میزان تداخل قابل قبول داشته باشیم. طرح استفاده مجدد فرکانس نرم با بهره‌گیری از تقسیم ناحیه و ارسال نصف توان برای نواحی مرکزی عملکرد قابل قبولی ایجاد کرد.

۴-۲ استفاده از شکل‌دهی پرتو در ارسال در طرح‌های سکتورینگ و تقسیم ناحیه سل با سکتورینگ

همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، احتمال قطع سیستم بر حسب شعاع r و ضریب تقسیم باند Q نشان داده شده است. شعاع و ضریب تقسیم باند بهینه با به حداقل رساندن احتمال قطع با توجه به (۱) به دست می‌آیند. در شکل ۱۰ با استفاده از پارامترهای سیستم LTE بالا، $r^* = 0.75$ و $Q^* = 0.64$ می‌باشند.

در این قسمت ابتدا طرح‌های سکتوربندی و تقسیم ناحیه سلول همراه با شکل‌دهی پرتو در ارسال را از نظر فاصله کاربر تا ایستگاه پایه با یکدیگر مقایسه می‌کنیم و سپس عملکرد کلی هر طرح را با توجه به افزایش بار ترافیکی ارزیابی خواهیم کرد.

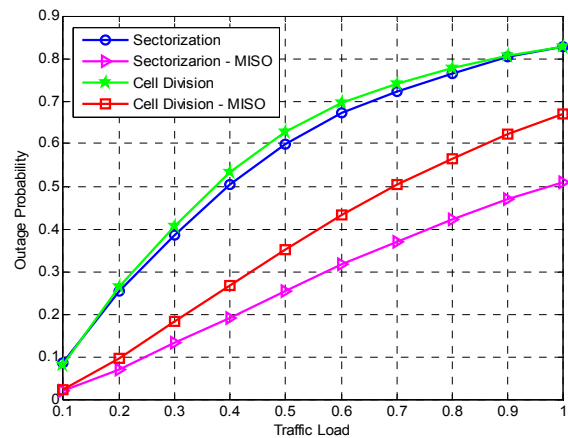
در چنین سیستم‌هایی می‌توان با تقسیم ناحیه تحت پوشش، تقسیم عرض باند، کنترل توان ارسالی و همچنین استفاده از انتقال چندآنتنه با پیش‌کدگذاری مناسب (ایجاد اختلاف فاز بین سیگنال‌های ارسالی در واقع Beam-forming در ارسال)، امکان بهره‌وری بیشتر و کامل از طیف فرکانسی و کیفیت سرویس‌دهی مطلوب‌تر نسبت به سیستم‌های سلولار قبلی را ایجاد کرد و ترکیب این ساختارها با طرح‌های تخصیص فرکانسی می‌تواند منجر به افزایش قابل ملاحظه‌ای در ظرفیت و کیفیت سرویس‌دهی بالاخص در ترافیک‌های میانی و نواحی حاشیه سل گردد.

مراجع

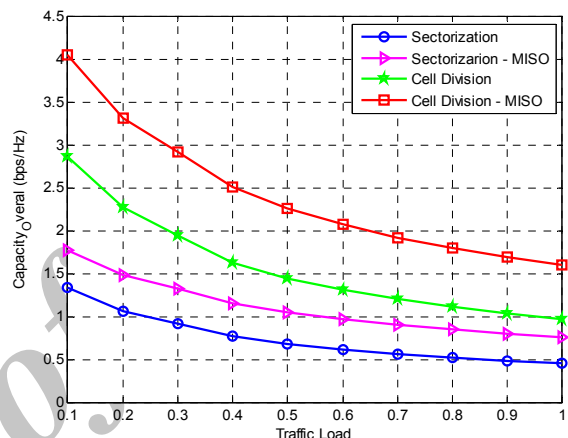
- [1] F. Khan, *LTE for 4G Mobile Broadband*, Cambridge University Press, New York, 2009.
- [2] D. Astely, et al., "LTE: the evolution of mobile broadband," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 4, pp. 44-51, Apr. 2009.
- [3] T. S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice*, 2nd Ed., New Delhi, 2006.
- [4] S. E. Elayoubi and B. Fouresterie, "On frequency allocation in 3G LTE systems," in *Proc. of 17th IEEE Int. Symp. on Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 9, no. 4, pp. 1414-1425, Apr. 2010.
- [5] M. Rahman and H. Yanikomeroglu, "Enhancing cell-edge performance: a downlink dynamic interference avoidance scheme with inter-cell coordination," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 9, no. 4, pp. 1414-1425, Apr. 2010.
- [6] Y. M. Kwon, O. K. Lee, J. Y. Lee, and M. Y. Chung, "Power control for soft fractional frequency reuse in OFDMA system," *Computational Science and Its Applications, ICCSA'10*, pp. 63-71, 2010.
- [7] M. Qian, et al., "Inter-cell interference coordination through adaptive soft frequency reuse in LTE networks," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf.: MAC and Cross-Layer Design*, pp. 1618-1623, Shanghai, China, 1-4 Oct. 2012.
- [8] R. Prasad, *OFDM for Wireless Communications Systems*, Artech House, Inc., Boston-London, 2004.
- [9] H. Son and S. Lee, "Bandwidth and region division for broadband multi-cell networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 10, no. 5, pp. 360-362, May 2006.
- [10] D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communication*, Cambridge University Press, New York, 2005.
- [11] V. Kuhn, *Wireless Communications over MIMO Channels*, John Wiley & Sons, Ltd, 2007.
- [12] S. Adhikari, "Critical analysis of multi-antenna systems in the LTE downlink," in *Proc. IEEE Int. Conf. Internet Multimedia Services Architecture and Applications, IMSA'09*, 6 pp., Bangalore, India, 9-11 Dec. 2009.

حمیدرضا میرسالاری تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق الکترونیک در سال ۱۳۸۶ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد جامع شوشتر و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق مخابرات در سال ۱۳۸۹ از دانشگاه بیرجند به پایان رسانده است و هم‌اکنون دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی برق مخابرات در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (ورودی ۹۲) می‌باشد. نام‌برده از سال ۹۰ عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد جامع شوشتر می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: مخابرات سلولار، مدیریت و تخصیص منابع در شبکه‌های سیار و تخمین کانال‌های MIMO-OFDM.

ناصر ندا در سال ۱۳۶۸ مدرک کارشناسی مهندسی الکترونیک خود را از دانشکده فنی دانشگاه تهران و در سال ۱۳۷۳ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات خود را از دانشگاه صنعتی شریف دریافت نمود. از سال ۱۳۷۳ الی ۱۳۷۷ نام‌برده به عنوان عضو هیأت علمی در دانشگاه بیرجند به کار مشغول بود و پس از آن به دوره دکتری مهندسی مخابرات در مرکز تحقیقات مخابرات دانشگاه ساری (Surrey-CCSR) در کشور انگلستان وارد گردید و در سال ۱۳۸۳ موفق به اخذ درجه دکتری در مهندسی مخابرات از دانشگاه مذکور گردید. دکتر ندا از سال ۱۳۸۳ در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه بیرجند مشغول به فعالیت گردید و اینک نیز عضو هیأت علمی این دانشکده می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند لایه فیزیکی در مخابرات سیار، مخابرات MIMO، شبکه‌های سنسور می‌باشد.



شکل ۱۲: احتمال قطع کل سیستم با توجه به افزایش بار ترافیکی.



شکل ۱۳: ظرفیت کل سیستم با توجه به افزایش بار ترافیکی.

مشهود است. در اینجا بهترین کد با توجه به موقعیت کاربر متحرک و اطلاعات جدول ۲ برای هر کاربر به طور جداگانه انتخاب و استفاده می‌شود. بهره ظرفیت متوسط (Overall) شبکه بر حسب درصد بار ترافیکی در شکل ۱۳ آورده شده است.

البته مشاهده می‌شود که پیش‌کدینگ حداکثر بهره را در ترافیک‌های میانی ارائه می‌دهد چرا که در شبکه خیلی شلوغ، بیم متمرکز آنتن پایه می‌تواند باعث افزایش تداخل برای کاربرانی که هم‌جهت با کاربر مورد نظر هستند، گردد.

به وضوح دیده می‌شود که چنانچه ظرفیت کل سیستم را مد نظر داشته باشیم، طرح تقسیم سل به بهره قابل‌توجهی نسبت به طرح سکتوربندی منجر می‌شود و همچنین استفاده از CLSM مرتبه ۱ بهره مشابهی در تمام بارهای ترافیکی نسبت به طرح تقسیم سل ایجاد خواهد کرد. در شکل ۱۳ مشاهده می‌کنیم که ظرفیت کل سیستم در طرح تقسیم ناحیه (بدون استفاده از CLSM مرتبه ۱) با توجه به بهره‌وری بهتر از فرکانس (عرض باند مشترک در ناحیه داخلی)، به طور متوسط حدود ۴۴٪ نسبت به سکتوربندی افزایش می‌یابد. علاوه بر این ترکیب این طرح با تکنیک انتقال پیش‌کدینگ، می‌تواند ظرفیت متوسط کل شبکه را حدود ۴۲٪ نسبت به طرح تقسیم ناحیه سل معمولی (تک‌آنتنه) افزایش دهد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله عملکرد طرح‌های تخصیص فرکانس مختلف را در یک شبکه مبتنی بر OFDM مانند LTE از لحاظ ظرفیت و تداخل بررسی کردیم. مشاهده شد که با استفاده از قابلیت‌ها و تکنولوژی مورد استفاده