

تأثیر تداخل ناشی از شبکه اولیه در عملکرد شبکه رله شناختی

نقیسه صادقی^۱، دکتر روح‌اله آقاجانی^۲

۱- دانشکده برق، گروه برق-مخابرات، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- دانشکده برق، گروه برق-مخابرات، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

خلاصه

شبکه رله شناختی، به عنوان طرحی برای بهینه‌سازی استفاده از طیف فرکانسی قرار گرفته است. در این مقاله هدف آن است تا با استفاده از شبکه رله شناختی برای فرستنده‌هایی با محدودیت‌هایی نظیر کمبود طیف فرکانسی و محوشدگی به ارسال اطلاعات و دریافت صحیح آن در گیرنده با بیشترین احتمال دست یابیم. آنچه در طراحی این شبکه‌ها اهمیت می‌یابد ارسال صحیح اطلاعات چنان است که هیچ یک از کاربران اولیه و ثانویه سبب ایجاد تداخل مخرب بر ارسال اطلاعات دیگری نگردند و این تنها زمانی محقق می‌شود که شبکه شناخت در سنجش خالی بودن طیف، درک درستی داشته باشد. انتظار می‌رود که با افزایش آستانه تداخل ماکزیمم مقصد، احتمال خاموشی کاهش یابد و نیز افزایش نرخ ارسال داده احتمال خاموشی را افزایش دهد، که این موضوع در شبیه‌سازی نیز اثبات شده است. این پژوهش به صورت توصیفی پیمایشی انجام شده و در آن علاوه بر محاسبات تئوری از نرم‌افزار Matlab نیز استفاده می‌شود.

کلمات کلیدی: رله شناخت، رادیو شناخت، احتمال خاموشی، نسبت سیگنال به نویز، شبکه بی‌سیم

۱. مقدمه

پس از اوج گرفتن شبکه‌های بی‌سیم استفاده از رله برای بهبود گذردهی این سیستم‌ها پیشنهاد شد. استفاده از رله به عنوان کانال ارتباطی میان فرستنده و گیرنده اولین بار در سال ۱۹۷۱ مطرح و کران پایین ظرفیت^۱ برای یک کانال رله محاسبه شد [۱]. در سال ۱۹۸۸ نمونه‌ای از یک کانال رله بدون احتساب نویز را در نظر گرفته و ظرفیت آن کانال را تعیین گردید [۲]. پس از آن، طی یک پژوهش تأثیرگذار در زمینه کانال‌های بی‌سیم رله در ۲۰۰۵، کران پایین و کران بالای^۲ ظرفیت در این شبکه‌ها مورد توجه قرار گرفت [۳]. در همین راستا سیمون و همکارانش در سال ۲۰۰۷ مزایا و مشکلات شبکه‌های بی‌سیم را در قالب مقاله [۴] بیان کرده و به ارائه راهکارهایی برای رفع مشکلات این شبکه‌ها پرداختند.

از آنجا که طیف رادیویی از منابع محدود است، عدم بهره‌برداری بهینه از آن، سیستم‌های مخابراتی را با مشکلات متعددی مواجه خواهد کرد. بدین ترتیب استفاده بهینه از طیف فرکانسی، تغییر رویه مدیریت سنتی طیف و حرکت به سمت روش‌های انعطاف‌پذیری تحت عنوان مدیریت پویای طیف را می‌طلبد. سیمون از جمله این روش‌ها به شبکه‌های مشارکتی^۳ و شبکه‌های مبتنی بر شناخت نگاهی ویژه داشته است.

¹ Lower bound² Upper bound³ Cooperative networks

ایده‌ی اساسی در مخابرات مشارکتی این است که همه کاربرها می‌توانند برای ارسال سیگنال به مقصد به طور مشارکتی به یکدیگر کمک کنند [۵]. اطلاعات هر کاربر نه تنها به وسیله خود کاربر بلکه توسط کاربرهای دیگر نیز ارسال می‌شود، لذا اطلاعات دریافتی در مقصد قابل اعتمادتر بوده و با ایجاد چندگانگی ارسال، محوشدگی کاهش می‌یابد [۶]. مفهوم رادیو شناخت راهکار دیگری بود که در راستای بهره‌گیری مناسب و بهینه از طیف فرکانسی در سال ۱۹۹۹ توسط مایتولا پیشنهاد شد [۷]. در سال ۲۰۰۴ شبکه‌های رله شناختی را با دو راهبرد AF^1 و DF^2 مورد بررسی قرار گرفت. این مقاله احتمال خاموشی را با هر یک از راهبردها در ناحیه‌ای که از نسبت سیگنال به نویز مناسبی برخوردار است، محاسبه کرد [۸]. در همان سال جهت تعیین تقریبی از احتمال خاموشی یک سیستم تک رله با معیار تخصیص توان در حداکثر کردن ظرفیت استفاده شد [۹]. در ۲۰۰۵ نیز سیستم مشابهی به صورت یک طرفه و با تخصیص توان کمینه انتخاب گردید [۱۰]. علیرضا در ۲۰۱۰ یک شبکه یک طرفه شامل یک جفت فرستنده و گیرنده اولیه مطرح کرد که توسط ترمینال‌های رله به مقصد متصل شده بود و نمونه‌ای از یک شبکه رله شناختی ساده می‌باشد [۱۱]. نکته برجسته این مقاله نگارش روابط به صورت برداری و ماتریسی است. هر کدام از راهبردهای فوق تحت شرایطی بر دیگری برتری دارد و نمی‌توان یکی در بر دیگری ارجحیت داد [۸].

هدف از انجام این پژوهش نشان دادن تأثیر تداخل ناشی از کاربران اولیه بر روی صحت ارسال اطلاعات و به خصوص احتمال خاموشی در شبکه رله مبتنی بر شناخت می‌باشد. پژوهش حاضر به بررسی یک مدل شبکه رله مبتنی بر شناخت پرداخته است که در آن کاربر ثانویه با استفاده فرصت طلبانه از طیف فرکانسی کاربران اولیه به ارسال اطلاعات به مقصد می‌پردازد. در این تحقیق علاوه بر در نظر گرفتن تداخل ناشی از کاربران ثانویه، دسته دیگری تداخل یعنی تداخل ناشی از کاربران اولیه بر روی شبکه ثانویه نظر گرفته شده است. در اینجا با فرض دور بودن مقصد ثانویه از کاربران اولیه تداخل شبکه اولیه بر رله مورد بررسی قرار گرفته است. علی‌رغم آن که این دسته لینک تداخلی در محاسبه احتمال خاموشی بی‌تأثیر نیست، جهت ساده‌تر شدن محاسبات در سایر پژوهش‌های پیشین از آن صرف‌نظر شده است.

بخش دوم مقاله به معرفی شبکه رادیو شناخت، ویژگی‌ها و پیشینه آن پرداخته است. در این قسمت پس از یادآوری مزایایی که شبکه‌های رله ایجاد می‌کنند، تلفیق رله و رادیو شناخت به عنوان راهکاری اساسی در بهبود گذردهی سیستم مطرح شده است. بخش سوم مدل در نظر گرفته شده را ترسیم کرده و توصیف کلی از عملکرد مطلوب در این شبکه‌ها ارائه کرده است. بخش چهارم احتمال خاموشی را به عنوان معیاری برای سنجش کارکرد شبکه رله شناخت مفروض به دست آورده و با استفاده از توصیف آماری مقدار آن را محاسبه کرده است. بخش پنجم احتمال خاموشی را با شبیه‌سازی در نرم‌افزار متلب نشان داده است و بازدهی شبکه رله شناخت را از دیدگاه احتمال خاموشی به تصویر کشیده است. بخش ششم نتایج استخراج شده از نتایج تحلیلی و شبیه‌سازی شبکه رله شناخت مورد نظر بررسی گردیده است.

۲. شبکه رله شناخت

به‌کارگیری شبکه مبتنی بر شناخت، جهت مدیریت پویای طیف، رهیافت کلیدی در حل مسئله محدودیت طیف به‌شمار می‌رود. مسأله کمبود طیف‌های فرکانسی مورد نیاز با افزایش تقاضای کاربران از مخابرات سیار، مشکلی است که رادیو شناختگرها در حل آن کمک شایانی می‌کنند. بر این اساس امکان به اشتراک گذاری طیف فرکانسی فراهم می‌گردد. رادیو شناخت، تکنولوژی رو به گسترشی است که با هوشمندسازی رادیوها، استفاده بهتر از منابع و عملکرد بهتر در مخابرات سیار را ممکن ساخته است.

¹ Amplify and forward

² Decode and forward

کلمه شناخت در این رادیوها، به آگاهی این سیستم‌ها از محیط فعال خود اشاره دارد. رادیو شناخت به عنوان سیستمی که توانایی یافتن فرصت‌های طیفی را دارد، با یک تصمیم‌گیری درست نسبت به اطلاعاتی که یافته است حفره‌های طیفی^۱ را به کاربران بدون مجوز اختصاص می‌دهد [۱۲]. البته این امر تنها زمانی می‌تواند صورت گیرد که کاربر اولیه از طیف خود استفاده نکند.

طبق تعریف هیکین^۲، رادیو مبتنی بر شناخت معرف یک سیستم مخابراتی هوشمند است که نسبت به محیط طیفی اطرافش آگاهی دارد و از این جهت می‌تواند با توجه به مشاهدات خود، فرصت‌های طیفی بلااستفاده را شناسایی و سیستم ارسال و دریافت را با تغییرات محیط اطراف، سازگار کند [۱۳]. تطبیق‌پذیری با محیط، یکی از مشخصه‌های اصلی شبکه مبتنی بر شناخت است، چرا که پارامترهای این رادیو شامل فرکانس، توان مدولاسیون و پهنای باند با توجه به تغییرات محیط رادیویی، وضعیت کاربران، شرایط شبکه، موقعیت جغرافیایی خود و ... تغییر می‌کند [۱۴]، [۶]. هوشمند خواندن این سیستم‌ها نیز از همین ویژگی حاصل شده است. تعاریف متنوع دیگری نیز از رادیو مبتنی بر شناخت ارائه شده است که همه آن‌ها به ویژگی‌های مشاهده^۳، تطبیق‌پذیری^۴ و هوشمندی^۵ و تحلیل^۶ تأکید دارند.

در حال حاضر بعضی از تکنولوژی‌های ابتدایی رادیو شناختگر (مانند انطباق در توان ارسال و انتخاب پویای کانال در پاسخ به تغییرات محیط رادیویی) در تعداد اندکی از شبکه‌های سیار موجود مانند شبکه‌های سلولی، تلفن‌های بی‌سیم و شبکه‌های سیار محلی به کار گرفته شده اند [۱۵].

چنانچه پیش از این اثبات شده است، شبکه‌های رله در بهبود گذردهی شبکه‌های بی‌سیم نقش مهمی ایفا می‌کنند، تا جایی که انتقال اطلاعات با کمک رله، قابلیت اطمینان و ظرفیت سیستم را افزایش می‌دهد و به همین دلیل در پروتکل‌هایی نظیر 802.11g، 802.11s و 3GPP LTE-Advanced نیز پذیرفته شده است. از این رو تلفیق شبکه شناختی و شبکه رله به عنوان یک راه حل برای بهبود گذردهی سیستم شناخته شده است [۱۶]، [۱۷].

ارسال اطلاعات در شبکه رله شناختی از طریق دو مسیر ارتباطی انجام می‌گیرد: مسیر اول از کاربر ثانویه به مقصد و مسیر دوم از کاربر ثانویه به رله و پس از آن از رله به مقصد. مسیر اول لینک مستقیم و مسیر دوم لینک رله نامیده می‌شود. در برخی از مقالات کاربر ثانویه چنان دور از مقصد در نظر گرفته شده است که ارسال اطلاعات از لینک مستقیم ضعیف بوده و از اثر آن صرف‌نظر شده است. مقاله [۱۸] از این دست می‌باشد که به تحقیق در مورد تأثیر چند گیرنده اولیه بر روی عملکرد سیستم‌های شبکه رله شناختی پرداخته، اما از تأثیر لینک مستقیم شبکه ثانویه به مقصد صرف‌نظر کرده است، یعنی فرض شده ارسال اطلاعات تنها از طریق رله صورت می‌گیرد. مقالات [۲۱] - [۱۹] شبکه‌های شامل چند رله را مورد توجه قرار داده و تکنیک‌هایی برای انتخاب رله، جهت بهبود عملکرد شبکه‌های رله شناختی، معرفی کرده است. در این مقالات پس از انتخاب رله بهینه، ظرفیت^۷ سیستم و احتمال خاموشی آن‌ها محاسبه شده است. مقاله [۲۲] موضوع کنترل توان را در نمونه‌ای از یک شبکه رله شناختی شامل یک کاربر اولیه و چند کاربر ثانویه تحقیق کرده و نقش تداخل ناشی از کاربران ثانویه بر شبکه اولیه را بررسی کرده است.

¹ Spectrum Hole

² Simon Haykin

³ Observation

⁴ Adaptivity

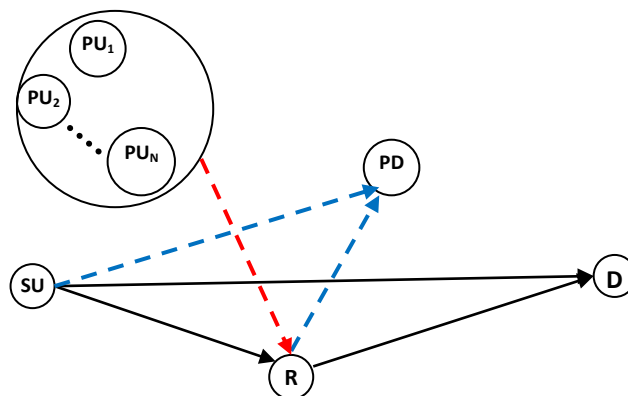
⁵ Intelligence

⁶ Analysis

⁷ Capacity

۳. مدل سیستم

مدلی که در این مقاله مدنظر قرار داده ایم شامل مجموعه‌ای از فرستنده‌ها و یک گیرنده اولیه، چنان که در شکل ۱ نشان داده شده، می‌باشد. در کنار شبکه اولیه، کاربر ثانویه حضور دارد که می‌تواند در باند فرکانسی شبکه اولیه، به شرط کنترل تداخل بر روی شبکه اولیه، اطلاعات خود را به مقصد ارسال کند. در این سیستم، یک مدل ائتلاف مسیر کاهشی-نمایی فرض شده است.



شکل ۱: مدل شبکه رله شناختی

ایجاد بهبود در قابلیت اطمینان کانال ما را به استفاده از یک رله مشتاق ساخته است. رله با هدف افزایش شعاع سلول در شبکه‌هایی که میان فرستنده و گیرنده لینک مستقیم^۱ وجود ندارد و یا این ارتباط ضعیف است، کاربرد دارد. در اینجا نیز رله واقع در میان فرستنده و گیرنده، به منظور رفع ضعف در ارتباط فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود. رله موجود در این مدل که پیش از این تنها در اختیار شبکه اولیه بوده، اکنون در ارسال اطلاعات شبکه ثانویه مشارکت می‌کند. راهبردی که برای رله انتخاب شده از نوع دیکد و گسیل می‌باشد، به این ترتیب پس از دریافت سیگنال از فرستنده، سیگنال را دیکد و به سمت مقصد ارسال می‌کند.

مطابق مدل شکل ۱ ارتباط کاربر شبکه ثانویه با مقصد، از دو مسیر ارتباطی مستقیم و رله صورت می‌گیرد. لینک رله^۲ شامل دو فاز است. فاز اول ارسال از کاربر ثانویه به رله و فاز دوم ارسال از رله به مقصد می‌باشد. این لینک‌ها که لینک ارسال داده نامیده می‌شوند به صورت خط ممتد در تصویر نشان داده شده‌اند. لینک‌هایی که به صورت خط چین نمایش داده شده‌اند، لینک‌های تداخل هستند.

تداخلی که کاربر ثانویه و رله بر روی کاربران اولیه دارند با رنگ آبی مشخص شده است، این تداخل که بر روی شبکه اولیه تأثیر نامطلوبی ایجاد می‌کند، ناگزیر در شبکه‌های رله مبتنی بر شناخت وجود دارد و باید چنان کنترل شود که از یک مقدار آستانه از پیش تعیین شده بیشتر نگردد، چرا که در غیر این صورت افزودن شبکه ثانویه موجب اختلال در کار شبکه اولیه می‌شود. علاوه بر این دسته لینک‌های تداخلی، نوع دیگری از تداخل در شبکه‌های رله‌ای مبتنی بر شناخت وجود دارد که در کارهای پیشین انجام شده از آن چشم‌پوشی شده است. این دسته لینک تداخلی که با رنگ قرمز مشخص شده، همان تداخلی است که کاربران اولیه در ارسال اطلاعات شبکه ثانویه ایجاد می‌کنند و تأثیر نامطلوبی بر شبکه ثانویه می‌-

^۱ Direct link^۲ Relay link

گذارند. در این جا فاصله میان کاربران اولیه از مقصد ثانویه چنان دور فرض شده است که می‌توان از تأثیر کاربران اولیه بر آن چشم‌پوشی کرد.

همان طور که گفته شد، کاربران اولیه برای استفاده از طیف مورد نظر دارای مجوز بوده و اجازه دسترسی به طیف را در هر زمانی دارا می‌باشند، در حالی که کاربر ثانویه به صورت پویا^۱ و فرصت‌طلبانه^۲ به این طیف دسترسی می‌یابد، البته با این شرط که موجب تداخل غیرقابل تحمل بر کاربران اولیه نگردد. برای جلوگیری از تداخل و تخریب اطلاعات ارسال شده، شبکه رله شناختی وظیفه دارد طیف فرکانسی شبکه اولیه را مرتباً بررسی کند که آیا فرستنده اولیه‌ای در حال ارسال اطلاعات می‌باشد؟ شبکه رله شناختگر باید به طور کارآمدی قادر به تشخیص کاربران اولیه حتی در شرایطی که نسبت سیگنال به نویز پایین است و همچنین در محیط‌های دارای محوشدگی باشد تا بتواند به طور مؤثری از ایجاد تداخل پیشگیری کند.

در واقع، اگرچه کاربران ثانویه اجازه دارند به طیف مجازی، که به کاربران اولیه اختصاص داده شده، دسترسی یافته و اطلاعات خود را به مقصد ارسال کنند، اما این اشتراک طیف فرکانسی باید به گونه‌ای صورت پذیرد که بر روی شبکه اولیه تداخل ایجاد نکند. شرط دیگر تضمین کیفیت سرویس^۳، مقابله با تداخل دیگری است و آن تداخل ناشی از شبکه اولیه بر روی شبکه ثانویه می‌باشد. به این ترتیب زمانی می‌توان کیفیت شبکه رله مبتنی بر شناخت را تضمین کرد که هیچ یک از شبکه‌های اولیه و ثانویه بر یکدیگر تأثیر مخرب نداشته باشند و ارسال اطلاعات چه از شبکه اولیه به مقصد و چه از شبکه ثانویه به مقصد دچار اختلال نگردد. در این رساله هر دو نوع تداخل بیان شده در محاسبات در نظر گرفته شده است.

۴. محاسبه احتمال خاموشی سیستم

رله موجود در شبکه از راهبرد کدگشایی و ارسال استفاده می‌کنند. ضرایب محوشوندگی مابین هر کاربر اولیه و رله $\eta_{pu,R}$ ، کاربر اولیه و مقصد $\eta_{pu,D}$ ، کاربر ثانویه و رله $\eta_{su,R}$ رله و مقصد $\eta_{R,D}$ تعریف شده اند. کاربران اولیه نزدیک به هم فرض شده‌اند به طوری که یک میزان محوشدگی را نسبت به رله و یک میزان محوشدگی را نسبت به مقصد از خود نشان می‌دهند. این ضرایب مستقل و دارای توزیع نرمال با توزیع نرمال فرض شده اند. نویز موجود در شبکه نیز نویز سفید گوسی با میانگین صفر و واریانس σ_N^2 در نظر گرفته شده است.

چنان که گفته شد، هر کاربر ثانویه از طریق لینک‌های مستقیم و لینک‌های رله با مقصد ارتباط دارد، از این رو محاسبات مربوط به احتمال خاموشی، متأثر از هر دو لینک‌های مستقیم و رله است.

ما برخلاف [۲۳] از هر دو ارتباط مستقیم و رله به عنوان معیار شبکه رله شناخت استفاده کردیم و این معیار روش ما را به یک راه حل بهینه مبدل کرده است.

فرض می‌کنیم کاربر ثانویه قصد ارسال اطلاعات خود را به مقصد D دارد. برای این منظور در مرحله اول سیگنال نرمالیزه شده x_n را به R و D می‌فرستد. سیگنال دریافتی مربوطه در R و D به ترتیب به صورت رابطه ۱ و رابطه ۲ نوشته می‌شود:

$$y_R = \sqrt{P_n} h_{su,R} x_n + \sqrt{P_{pu}} h_{pu_n,R} x'_n + n_R \quad (1)$$

¹ Dynamic

² Opportunistic

³ Quality of Service (QoS)

که در آن y_R سیگنال دریافتی در رله، P_n توان سیگنال ارسالی کاربران ثانویه، P_{pu} توان سیگنال ارسالی کاربران اولیه، $h_{su,R}$ ضریب محوشدگی کانال کاربر ثانویه و رله، $h_{pu_n,R}$ ضریب محوشدگی کانال کاربر اولیه و رله، x_n و x'_n سیگنال‌های نرمالیزه شده ارسالی مربوطه در هر لینک می‌باشد و n_R نویز موجود در رله می‌باشد.

$$y_D^{(1)} = \sqrt{P_n} h_{su,D} x_n + \sqrt{P_{pu}} h_{pu_n,D} x'_n + n_D^{(1)} \quad (2)$$

$y_D^{(1)}$ سیگنال دریافتی در مقصد D از طریق لینک مستقیم، $h_{su,D}$ ضریب محوشدگی کاربر ثانویه و مقصد D، $h_{pu_n,D}$ ضریب محوشدگی کانال کاربر اولیه و مقصد ثانویه، $n_D^{(1)}$ نویز موجود در این کانال می‌باشد. مهم آن است که بدانیم تداخل روی هر کدام از مقصد اولیه، مقصد ثانویه و رله کمتر از یک آستانه داده شده باشد. از این رو توان سیگنال ارسالی کاربران اولیه P_{pu} ، توان سیگنال ارسالی کاربران ثانویه P_n و توان انتقالی رله P_R صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_{pu_n} = \frac{I_{th}}{\max_{n=1, \dots, N} |h_{pu_n,D}|^2} \quad (3)$$

I_{th} حداکثر تداخل قابل تحمل تعریف شده است. به همین ترتیب برای P_n و P_R خواهیم داشت:

$$P_n = \frac{I_{th}}{|h_{su,PD}|^2} \quad (4)$$

در این رابطه $h_{su,PD}$ ضریب محوشدگی کانال کاربر ثانویه و مقصد اولیه است.

$$P_R = \frac{I_{th}}{|h_{R,PD}|^2} \quad (5)$$

و $h_{R,PD}$ ضریب محوشدگی سیگنال ارسالی در کانال رله به مقصد اولیه است. به این ترتیب توان سیگنال ارسالی رله با توجه به ماکزیمم تداخلی که بر روی مقصد اولیه ایجاد می‌کند، تعیین گردید. سپس در فاز دوم، رله سیگنال دیکد شده را به مقصد D می‌فرستد.

$$y_D^{(2)} = \sqrt{P_R} h_{R,D} y_R + n_D^{(2)} \quad (6)$$

در این مرحله نسبت سیگنال به نویز در هر یک از لینک‌های مستقیم و رله محاسبه و پس از جایگذاری روابط ۳-۵ برای توان‌های P_n و P_R و P_{pu} خواهیم داشت:

$$SNR_R = \frac{I_{th} \frac{|h_{su,R}|^2}{|h_{su,PD}|^2}}{\sigma_N^2 + P_{pu} \sum_{n=1}^N |h_{pu_n,R}|^2} \quad (7)$$

SNR_R نسبت سیگنال به نویز موجود بر روی رله می‌باشد. نویز رله شامل دو بخش است یکی نویز طبیعی موجود در کانال که به صورت گوسی با واریانس σ_N^2 در نظر گرفته شده و بخش دوم تداخلی که کاربران اولیه بر روی رله ایجاد می‌کنند.

$$SNR_D = \frac{I_{th} \frac{|h_{su,R}|^2}{|h_{su,PD}|^2}}{\sigma_N^2} \quad (8)$$

SNR_D نسبت سیگنال به نویز در مقصد را نشان می‌دهد و مطابق آنچه در مورد رابطه ۷ بیان شد محاسبه می‌شود. اما در آن فاصله کاربر اولیه تا مقصد ثانویه چنان دور فرض شده است که از تداخل ناشی از این کاربر بر روی مقصد صرف‌نظر گردیده است.

$$SNR = \frac{I_{th} \frac{|h_{su,D}|^2}{|h_{su,PD}|^2} + I_{th} \frac{|h_{R,D}|^2}{|h_{R,PU}|^2}}{\sigma_N^2} \quad (9)$$

SNR نیز نسبت سیگنال به نویز در مقصد را با استفاده از تکنیک MRC بیان کرده است. مطابق نامگذاری‌های بیان شده $h_{R,D}$ ضریب محوشدگی کانال رله به مقصد است.

در این جا هدف آن است تا با استفاده از شبکه رله شناختی برای فرستنده‌هایی با محدودیت طیف فرکانسی یا معضل محوشدگی سیگنال به ارسال اطلاعات و دریافت صحیح آن در گیرنده با بیشترین احتمال دست یابیم. در مدل ارائه شده، مسأله بهینه سازی با معیار بیشینه سازی نسبت سیگنال به نویز دریافتی در مقصد مطرح شده به طوری که این تقسیم طیف، موجب ایجاد تداخل غیرقابل تحمل بر هر یک از کاربران نگردد و آشکارسازی در گیرنده‌های هر دو شبکه اولیه و ثانویه به صورت توأم و با کیفیت مطلوب انجام شود.

با دانستن این که هر یک از ضرایب محوشدگی $h_{su,R}$ ، $h_{R,D}$ ، $h_{su,D}$ ، $h_{su,PD}$ و $h_{pu,R}$ دارای توزیع نرمال به ترتیب با واریانس‌های α ، ζ ، β ، ϵ و η هستند، توزیع تجمعی نسبت‌های سیگنال به نویز تعریف شده، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F_X(x) = 1 - \frac{A I_{th}}{x P_{pu}} \times \frac{1}{(n-1)!} \times \frac{1}{\eta^{2n}} \times B^{n-1} \times \exp\left(-\frac{B}{\eta^2}\right) \times \Gamma(n) \Gamma\left(1 - n, \frac{B}{\eta^2}\right) \quad (10)$$

$F_X(x)$ تابع توزیع تجمعی SNR_R را نشان می‌دهد و A و B به ترتیب به صورت $A = \frac{\alpha^2}{\epsilon^2}$ و $B = \frac{A I_{th}}{x P_{pu}} + \frac{\sigma_N^2}{P_{pu}}$ تعریف می‌شوند. این رابطه از ترکیب چند تابع با توزیع نرمال بدست آمده است و محاسبه آن به اطلاعات آماری دقیقی نیاز دارد.

$$F_Y(y) = \frac{y}{y+C} \quad (11)$$

$F_Y(y)$ تابع توزیع تجمعی متغیر SNR_D معرفی می‌گردد که $C = \frac{\beta^2 I_{th}}{\epsilon^2 \sigma_N^2}$ می‌باشد. همان‌طور که از رابطه ۸ پیدا است، این متغیر از تقسیم مجذور دو متغیر نرمال با واریانس‌های مشخص به دست آمده است. تابع توزیع دیگری که برای محاسبه احتمال خاموشی به آن نیاز داریم، توزیع متغیر SNR است که توزیع آن به صورت زیر آورده شده است:

$$F_U(u) = \frac{-2DE}{(D+E+u)^3} \ln\left(\frac{1}{E(D+u)}\right) + \frac{DE}{(D+E+u)^2} \left(\frac{1}{D+u} - \frac{1}{E}\right) \quad (12)$$

در رابطه فوق $D = \frac{\beta^2}{\epsilon^2}$, $E = \frac{\zeta^2}{\eta^2}$ می‌باشد.

احتمال آن که سیستم توانایی ارسال صحیح و مطلوب را نداشته باشد احتمال خاموشی سیستم می‌نامیم. خاموشی، در دو صورت رخ می‌دهد، اول زمانی که رله و مقصد نتوانند اطلاعات را به درستی دریافت کنند و دوم زمانی که رله اطلاعات را به درستی دریافت کند اما در نهایت اطلاعات به صورت صحیح به مقصد نرسد. لازم به ذکر است که منظور از این که اطلاعات به درستی دریافت نشود این است که نسبت سیگنال به نویز آن کمتر از یک میزان قابل تشخیص برای گیرنده باشد. با این توضیح احتمال خاموشی به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$P_{out} = [\Pr(\text{SNR}_R < Y_{th}) \& \Pr(\text{SNR}_D < Y_{th})] \mid [(1 - \Pr(\text{SNR}_R < Y_{th})) \& \Pr(\text{SNR} < Y_{th})] \quad (13)$$

Y_{th} یک حد آستانه از پیش تعیین شده می‌باشد که بیشتر بودن نسبت سیگنال به نویز از این حد آستانه حاکی از صحت اطلاعات ارسالی در مقصد می‌باشد. سپس احتمال خاموشی به این ترتیب قابل محاسبه است:

$$P_{out} = [F_X(Y_{th}) \& F_Y(Y_{th})] \mid [(1 - F_X(Y_{th})) \& F_U(Y_{th})] \quad (14)$$

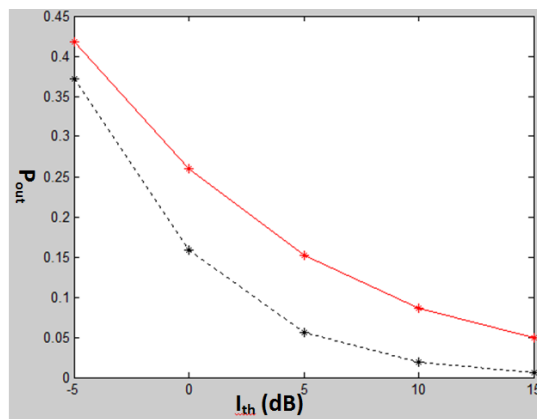
در رابطه فوق “&” عملگر منطقی AND و “|” عملگر منطقی OR را نشان می‌دهد.

۵. شبیه‌سازی

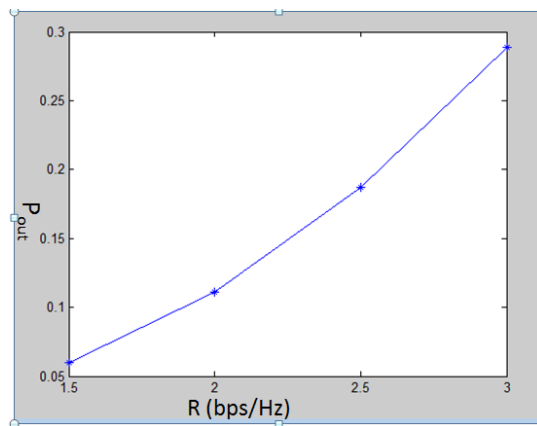
در این بخش برای نشان دادن نحوه عملکرد سیستم با استفاده از نرم‌افزار متلب مدل مفروض را پیاده‌سازی کرده‌ایم. معیار سنجش عملکرد، احتمال خاموشی انتخاب شده است که این احتمال چنان که پیش از این گفته شد با محاسبه نسبت سیگنال به نویز در مقصد و رله محاسبه شد. لازم به ذکر است هر یک از احتمالات خاموشی، پس از وقوع 10^4 بار آزمایش تصادفی و میانگین‌گیری از نتایج حاصل شده است.

در شکل ۲ احتمال خاموشی سیستم به ازای چند آستانه تداخل ماکزیمم متفاوت (5, 0, 5, 10 dB)، به صورت زیر به دست آمد. مطابق آن چه از نتایج شبیه‌سازی برمی‌آید با افزایش میزان آستانه تداخل ماکزیمم که در این جا به صورت dB آورده شده است احتمال خاموشی سیستم کاهش می‌یابد.

شکل ۳ نیز تأثیر نرخ ارسال داده را در احتمال خاموشی سیستم نشان می‌دهد. بر طبق این نتایج با افزایش نرخ ارسال داده، احتمال خاموشی نیز افزایش می‌یابد.



تصویر ۲: نمودار تغییرات احتمال خاموشی بر حسب آستانه تداخل ماکزیمم



تصویر ۳: نمودار تغییرات احتمال خاموشی بر حسب نرخ ارسال داده

۶. نتیجه گیری

همان طور که مشاهده شد به دلیل این که در این روش لینک مستقیم در کنار لینک رله برنامه ریزی رله شناخت را تحت تأثیر قرار می‌دهد این روش به عنوان یک روش بهینه معرفی شده است. واضح است با در نظر گرفتن تأثیر تداخل ناشی از کاربران اولیه بر روی کاربران ثانویه میزان احتمال خاموشی بیشتر می‌شود، چرا که وجود تداخل احتمال آن که اطلاعات در مقصد به درستی دریافت نشود را بیشتر می‌کند.

در این مقاله تأثیر دو پارامتر آستانه تداخل ماکزیمم و نرخ ارسال داده را بر روی احتمال قطع سیستم نشان دادیم. به طوری که با افزایش آستانه تداخل ماکزیمم، احتمال خاموشی شبکه کاهش و با افزایش نرخ ارسال داده، احتمال خاموشی افزایش می‌یابد.

در ادامه این پژوهش می‌توان تعداد کاربران ثانویه موجود را بیش از یکی فرض کرد. اگر چه کلیت موضوع تغییر نخواهد کرد اما این فرض محاسبات تابع توزیع را پیچیده‌تر خواهد ساخت و نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد.

References:

1. E. Van Der Meulen, "Three-terminal communication channels", Advances in Applied Probability, vol. 3, no. 1, pp. 120-154, spring 1971.
2. Z. Zhang, "Partial converse for a relay channel", Information Theory, IEEE Transactions on vol. 34, no. 5, pp.1106-1110, May 1988.
3. Anders Høst-Madsen and Junshan Zhang, "Capacity Bounds and Power Allocation for Wireless Relay Channels", Information Theory, IEEE Transactions on vol. 51, no. 6, pp. 2020-2040, June 2005.
4. O. Simeone, J. Gambini, Y. Bar-Ness, and U. Spagnolini, "Cooperation and Cognitive Radio", Communications, 2007. ICC'07. IEEE International Conference on. IEEE, Jun. 2007.
5. Su. Weifeng, K. A. Sadek and K. J. Ray Liu, "Cooperative communication protocols in wireless networks: Performance analysis and optimum power allocation", Wireless Personal Communications, vol. 44, no. 2, pp. 181-217, Jan. 2008.
6. Andrea Goldsmith, "Wireless communications", Cambridge University Press, 2005.
7. J. Mitola, III, "Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio", Ph.D. dissertation, Royal Inst. Of Technol., Stockholm, Sweden, 2000.
8. D. Hu and S. Mao, "Cooperative relay in cognitive radio networks: Decode-and-forward or amplify-and-forward?", Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), 2010.
9. X. Deng and A. Haimovich, "Power allocation for cooperative relaying in wireless networks", IEEE Communications Letters, vol.9, no. 11, pp.994-996, Nov. 2005.
10. Z. Jingmei, Z. Qi, S. Chunju, W. Ying, Z. Ping, and Z. Zhang, "Adaptive optimal transmit power allocation for two-hop non-regenerative wireless relaying system", Vehicular Technology Conference, 2004. VTC 2004-Spring. 2004 IEEE 59th. Vol. 2. IEEE, 2004.
11. Ardalan alizadeh, Seyed mohammad-sajad Sadough, "Power Minimization in Uni-directional Relay Networks with Cognitive Radio Capabilities", Telecommunications (IST), 2010 5th International Symposium on. IEEE, 2010.
12. Khuong Ho-Van, Vo Nguyen Quoc Bao, "On The Performance of Underlay Relay Cognitive Networks", REV Journal on Electronics and Communications, vol. 3, no. 1-2, June 2013.
13. Stefano Rini, Daniela Tuninetti, Natasha Devroye, and Andrea J. Goldsmith, "On the Capacity of the Interference Channel With a Cognitive Relay", Information Theory, IEEE Transactions on vol. 60, no.4, pp. 2148-2179, April 2014.
14. R.A. Renani, R. Saadat, M.R. Aref, G. Mirjalily, "SER of M-PSK modulation in ncremental selective decode-and-forward cooperative communications over Rayleigh fading channels", Advanced Communication Technology (ICACT), 2011 13th International Conference on, Seoul, pp. 432-437, Feb. 2011.
15. Lisheng Fan, Xianfu Lei, Trung Q. Duong, Rose Qingyang Hu, and Maged ElKashlan, "Multiuser Cognitive Relay Networks: Joint Impact of Direct and Relay Communications", Wireless Communications, IEEE Transactions on vol. 13, no. 9, pp. 5043-5055, Sept. 2014.
16. Wenjing Yue, Baoyu Zheng, Qingmin Meng, "Optimal Power Allocation for Cognitive Relay Networks", Wireless Communications & Signal Processing, 2009. WCSP 2009. International Conference on. IEEE, Nov 2009.

17. Yonghui Li, B. Vucetic, Zhendong Zhou, M. Dohler, "Distributed Adaptive Power Allocation for Wireless Relay Networks", *Wireless Communications, IEEE Transactions on* vol. 6, no. 3, pp. 948-958, Mar. 2007.
18. Y. Guo, G. Kang, N. Zhang, W. Zhou, and P. Zhang, "Outage Performance of Relay-Assisted Cognitive-Radio System under, *Spectrum-Sharing Constraints*", *Electron. Lett.*, vol. 46, no. 2, pp. 182-184, Jan. 2010.
19. S. Sagong, J. Lee, and D. Hong, "Capacity of Reactive DF Scheme in Cognitive Relay Networks", *Wireless Communications, IEEE Transactions on* vol. 10, no. 10, pp. 1536-1276, Oct. 2011.
20. J. Lee, H. Wang, J. G. Andrews, and D. Hong, "Outage Probability of Cognitive Relay Networks with Interference Constraints", *Wireless Communications, IEEE Transactions on* vol. 10, no. 2, pp. 390-395, Feb. 2011.
21. F.R.V. Guimaraes, D.B Costa, T.A. Tsiftsis, C.C Cavalcante and G.K. karagiannidis, "Multiuser and Multirelay Cognitive Radio Networks Under Spectrum-Sharing Constraints", *IEEE Transactions Vehicular Technology*, vol. 63, no. 1, pp. 433-439 Jan. 2014.
22. Khan Sohaib, Yonghoon Choi and Younghan Han, "Outage Improvement in Cognitive Relay Networks by Using a Generalized Regional Model", *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall) IEEE 72nd*, pp. 1-5, 2010.
23. Ekram Hossain, Vijay Bhargava, "Cognitive Wireless Communication Networks", *Springer* 2007.