

احتمال خاموشی شبکه رله شناخت با در نظر گرفتن پیوند تداخلی کاربران اولیه بر رله و گیرنده ثانویه

نفیسه صادقی^(۱) - روح الله آقاجانی^(۲)

(۱) کارشناس ارشد - دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

(۲) استادیار - دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۱

خلاصه: شبکه رله شناختی طرحی برای حذف مشکل محدودیت طیفی و گسترش محدوده ارسال در مخابرات بی‌سیم می‌باشد. این راهبرد اجازه می‌دهد که کاربران ثانویه از یک باند فرکانسی، که به شبکه اولیه اختصاص داده شده، استفاده کنند. در این شبکه از یک رله برای گسترش محدوده ارسال و بهبود احتمال خاموشی استفاده می‌شود. در صورت عدم مدیریت صحیح بر توان ارسالی، ممکن است هر یک از کاربران اولیه و ثانویه سبب ایجاد تداخل در ارسال اطلاعات یکدیگر گردند. در این مقاله علاوه بر در نظر گرفتن شرط عدم ایجاد تداخل بر کاربران اولیه از طرف کاربران ثانویه، برای داشتن یک مدل نزدیک به واقعیت اثر تداخل کاربران اولیه بر گره رله ثانویه در نظر گرفته شده است. این پیوند تداخلی در عمل موجب افزایش احتمال خاموشی کاربران ثانویه می‌شود. هدف این مقاله 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.

کلمات کلیدی: رله شناخت، رادیو شناخت، احتمال خاموشی، شبکه بی‌سیم.

Outage Probability of Cognitive Relay Network Considering the Interference Link from Primary Users on the Secondary Relay and Receiver

Nafiseh Sadeghi⁽¹⁾ - Rooholah Aghajani⁽²⁾

(1) MSc. - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

sadeghi.20369@gmail.com

(2) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

aghajani@iaun.ac.ir

Cognitive Relay network is a plan to remove some problems such as limited coverage and limited spectrum. This strategy permits secondary user to use a shared frequency band, which is dedicated to the primary users. The secondary network employs a relay node to extend the communication range and improves the network outage probability. By the way, primary and secondary users can cause destructive effects on each other, if they don't control the transmitted power. In this paper, we consider both primary and secondary interferences to model a more accurate cognitive relay network. The aim is to show the effects of interference caused by primary users on the correct data transmission and the outage probability in the cognitive relay network.

Index Terms: Cognitive relay, Outage probability, interference from primary

۱- مقدمه

پس از اوج گرفتن نظریه شبکه‌ها استفاده از رله برای بهبود گذردهی پیشنهاد شد. استفاده از رله به عنوان کانال ارتباطی میان فرستنده و گیرنده اولین بار در سال ۱۹۷۱ مطرح و کران پایین ظرفیت برای یک کانال رله محاسبه شد [۱]. ژانگ در سال ۱۹۸۸ نمونه‌ای از یک کانال رله بدون احتساب نویز را در نظر گرفت و ظرفیت آن کانال را تعیین کرد [۲]. پس از آن طی یکی از پژوهش‌های تأثیرگذار در زمینه کانال‌های بی‌سیم رله در ۲۰۰۵ کران پایین و کران بالای ظرفیت در این شبکه‌ها محاسبه شد [۳].

رله بسته به راهبردی که از آن استفاده می‌کند، می‌تواند سیگنال دریافتی را تقویت و سپس ارسال کند یا رله می‌تواند به صورت کدگذاری و ارسال عمل کند. مقاله [۴] نیز به بررسی دقیق این راهبردها پرداخته و در نهایت بیان شده که هر کدام از راهبردهای فوق تحت شرایطی بر دیگری برتری دارد و نمی‌توان به تعمیم یکی را بر دیگری ارجحیت داد.

در همین راستا سیمون و همکارانش در سال ۲۰۰۷ مزایا و مشکلات شبکه‌های بی‌سیم را در قالب مقاله‌ای بیان کرده و به ارائه راهکارهایی برای رفع مشکلات این شبکه‌ها پرداختند [۳]. آنان از جمله این روش‌ها به شبکه‌های مبتنی بر شناخت نگاهی ویژه داشته‌اند.

رادپو شناخت یک شبکه بی‌سیم رادیویی است که می‌تواند با بهره‌گیری از اطلاعات کسب شده از محیط و نظارت دائم و بی‌درنگ بر روی طیف فرکانسی و استخراج شاخص‌های محیطی به هوشمندانه‌ترین روال ممکن بر روی پارامترهای قابل پیکربندی رادیویی تصمیم بگیرد و بدین ترتیب بالاترین سطح از کیفیت خدمات به دست آید.

در شبکه‌های مبتنی بر شناخت، کاربر ثانویه اجازه دارد، تا زمانی که تداخل مخرب بر روی کاربران اولیه ایجاد نکند، طیف فرکانسی کاربران اولیه را اشغال کند. نکته قابل تأمل این است که کیفیت ارسال اطلاعات، زمانی که طیف در اختیار کاربر ثانویه می‌باشد، چگونه است؟ شرط تضمین کیفیت سرویس کاربران ثانویه، مقابله با دو نوع تداخل است. اول تداخل ناشی از کاربران ثانویه بر روی کاربران اولیه، که ارسال صحیح اطلاعات شبکه اولیه را به دنبال دارد و دوم تداخل ناشی از شبکه اولیه بر روی شبکه ثانویه، که ضامن ارسال صحیح اطلاعات در شبکه ثانویه می‌باشد. از این رو 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 یا خیر؟

اغلب تلاش‌های انجام شده در زمینه شبکه‌های مبتنی بر شناخت، بررسی تأثیر کاربران ثانویه بر ارسال صحیح اطلاعات در شبکه اولیه را مد نظر قرار داده‌اند.

مقاله [۵] یک شبکه رله شناختی را بررسی کرده و در مورد تأثیر چند گیرنده اولیه بر روی عملکرد سیستم‌های شبکه رله شناختی پرداخته است. در این شبکه از پیوند مستقیم منبع به مقصد شبکه ثانویه صرف-

نظر شده است. به عبارت دیگر فرض شده ارسال اطلاعات تنها از طریق رله صورت می‌گیرد. مقاله [۶] نیز احتمال خاموشی را برای یک شبکه رله شناختی محاسبه کرده است، اما نویسنده در آن نیز تصور کرده است که ارسال اطلاعات به مقصد فقط از طریق پیوند رله صورت می‌گیرد.

مقاله [۷] 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. نویسنده [۸] یک شبکه رله شناختی را در حضور مقصد اولیه در نظر گرفته و به بررسی تداخل در شبکه اولیه پرداخته است.

مقاله [۹] شبکه‌ای شامل چند رله را مورد توجه قرار داده و روشی برای انتخاب رله بهینه از منظر بهبود ظرفیت انتقال شبکه پرداخته است. مقاله [۱۰] نیز شبکه‌ای شامل چند رله را بررسی کرده و این بار رله بهینه را با معیار دستیابی به بهترین احتمال خاموشی تعیین کرده است. مقاله [۱۱] نیز همین موضوع را با راهبردهای متفاوت از رله کردن تحقیق کرده و روشی برای انتخاب رله بهینه برای کمک به ارسال اطلاعات منبع معرفی کرده است. نویسندگان در [۱۲] یک شبکه شامل یک جفت فرستنده و گیرنده اولیه مطرح کردند که توسط پایانه‌های رله به مقصد متصل شده است. نویسنده در این نمونه از شبکه رله شناختی، به بررسی توان ارسالی حداقل پرداخته است. نویسندگان [۱۳] نیز با مدلسازی یک شبکه رله شناختی شامل چند فرستنده اولیه و یک گیرنده اولیه و یک جفت فرستنده و گیرنده ثانویه احتمال خاموشی سیستم را با در نظر گرفتن پیوند تداخل رله و صرف‌نظر کردن از پیوند تداخلی مقصد ثانویه بررسی کرده‌اند.

ما قصد داریم تا با استفاده از شبکه رله شناختی برای فرستنده‌هایی با محدودیت طیف فرکانسی، به ارسال اطلاعات و دریافت صحیح آن در گیرنده با بیشترین احتمال دست یابیم. به عبارت دیگر، می‌خواهیم طیف فرکانسی یک شبکه را، مواقعی که در حال ارسال و دریافت هیچ اطلاعاتی نیست، به شبکه دیگری اختصاص دهیم. نکته مهم آن است که این اشتراک طیف موجب ایجاد تداخل مخرب در مقصد نگردد و اطلاعات فرستنده در مقصد به درستی دریافت شود. از این رو در این مقاله مسأله بهینه سازی با معیار نسبت سیگنال دریافتی به نویز بعلاوه تداخل در مقصد مطرح شده است تا آشکارسازی در گیرنده شبکه ثانویه با کیفیت مطلوب انجام شود.

۲- مدل سیستم

مدلی که در این مقاله به آن می‌پردازیم 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 جا پیوند تداخل کاربران اولیه بر روی مقصد ثانویه را نیز در نظر گرفته‌ایم.

ضرایب محوشدگی مابین هر کاربر اولیه و رله $h_{pu_n R}$ ، کاربر اولیه و مقصد $h_{pu_n D}$ ، کاربر ثانویه و رله h_{suR} و کانال از رله تا مقصد h_{RD} تعریف شده اند. کاربران اولیه نزدیک به هم فرض شده اند به طوری که یک میزان محوشدگی را نسبت به رله و یک میزان محوشدگی را نسبت به مقصد از خود نشان می دهند. این ضرایب مستقل و دارای 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.

فرض می کنیم کاربر ثانویه قصد ارسال اطلاعات خود را به مقصد D دارد. برای این منظور در مرحله اول به صورت پخشی سیگنال نرمالیزه شده x_n را به رله R و مقصد D می فرستد. سیگنال دریافتی مربوطه در R و D به ترتیب به صورت رابطه (۱) و رابطه (۲) نوشته می شود:

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

که در آن سیگنال دریافتی در رله، P_{su} توان سیگنال ارسالی کاربران، P_{pu} توان سیگنال ارسالی کاربران اولیه، h_{suR} ضریب محوشدگی کانال کاربر ثانویه و رله، $h_{pu_n R}$ ضریب محوشدگی کانال کاربران اولیه و رله، x'_n سیگنال های نرمالیزه شده ارسالی مربوطه در هر پیوند می باشد و n_R نویز موجود در رله می باشد.

$$y_{Ddirect} = \sqrt{P_{su}} h_{suD} x + \sqrt{P_{pu}} h_{pu_n D} x'_n + n_D^{(1)} \quad (2)$$

$y_{Ddirect}$ سیگنال دریافتی در مقصد D از طریق پیوند مستقیم، h_{suD} ضریب محوشدگی کاربر ثانویه و مقصد D ، $h_{pu_n D}$ ضریب محوشدگی کانال کاربران اولیه و مقصد ثانویه، $n_D^{(1)}$ نویز موجود در این کانال می باشد.

برای آن که سیگنال ارسالی به درستی دریافت شود باید تداخل ناشی از کاربران ثانویه از مقدار آستانه I_{th} کمتر باشد. به این ترتیب توان سیگنال ارسال شده از سوی کاربران ثانویه P_{su} مطابق رابطه (۳) محدود می شود.

$$P_{su} = \frac{I_{th}}{|h_{suD}|^2} \quad (3)$$

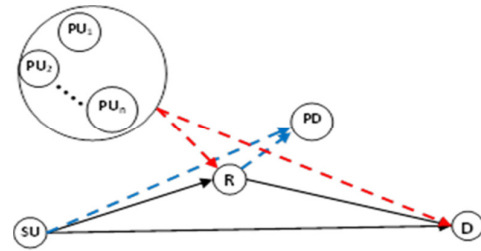
سپس در فاز دوم ارسال اطلاعات، رله سیگنال کدگشایی شده را به مقصد می فرستد.

$$y_D^{(2)} = \sqrt{P_R} h_{RD} x_R + n_D^{(2)} \quad (4)$$

در این مرحله نسبت سیگنال به نویز بعلاوه تداخل در هر یک از پیوندهای مستقیم و رله محاسبه و پس از جایگذاری رابطه (۳) خواهیم داشت:

$$SINR_R = \frac{I_{th} |h_{suR}|^2}{\sigma_N^2 + P_{pu} \sum_{n=1}^N |h_{pu_n R}|^2} \quad (5)$$

که در رابطه فوق $SINR_R$ نسبت سیگنال به نویز بعلاوه تداخل موجود بر روی رله می باشد. صورت کسر توان سیگنال در رله و مخرج کسر



شکل (۱): مدل شبکه رله شناختی با در نظر گرفتن پیوند تداخلی رله و مقصد

Fig. (1): Cognitive relay network model considering relay and destination interferences links.

فرض کرده ایم که رله از راهبرد کدگشایی و گسیل استفاده می کند و ارتباط کاربر ثانویه با مقصد، هم از طریق پیوند مستقیم و هم از طریق پیوند رله برقرار می شود. علاوه بر این پیوندها که به صورت خط مممت در شکل نشان داده شده اند، پیوندهای تداخلی به صورت خط چین نمایش داده شده اند.

تداخلی که کاربر ثانویه و رله بر روی کاربران اولیه دارند کم رنگ مشخص شده است. این تداخلی که بر روی شبکه اولیه تأثیر نامطلوبی ایجاد می کند، در شبکه های رله مبتنی بر شناخت وجود دارد و باید چنان کنترل شود که از یک مقدار آستانه از پیش تعیین شده بیشتر نرود، چرا که در غیر این صورت افزودن شبکه ثانویه موجب اختلال در کار شبکه اولیه می شود. در این صورت شبکه ثانویه باید حتماً طیف فرکانسی را خالی کند. همان طور که پیش از این گفته شد، علاوه بر این دسته پیوندهای تداخلی، نوع دیگری از تداخلی در شبکه های رله مبتنی بر شناخت وجود دارد که در کارهای پیشین انجام شده از آن چشم پوشی شده است. این دسته پیوند تداخلی که با رنگ قرمز مشخص شده، همان تداخلی است که کاربران اولیه در ارسال اطلاعات شبکه ثانویه ایجاد می کنند و تأثیر نامطلوبی بر شبکه ثانویه می گذارند. 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 گونه ای صورت پذیرد که بر روی شبکه اولیه تداخل ایجاد نکند. شرط دیگر تضمین کیفیت سرویس، مقابله با تداخل دیگری است و آن تداخل ناشی از شبکه اولیه بر روی شبکه ثانویه می باشد. به این ترتیب زمانی می توان کیفیت شبکه رله مبتنی بر شناخت را تضمین کرد که هیچ یک از شبکه های 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 نرود.

۳- محاسبه احتمال خاموشی سیستم

همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده، ما در این جا هر دو پیوند مستقیم و رله را در نظر گرفته ایم، از این رو محاسبات مربوط به احتمال خاموشی، متأثر از هر دو پیوندهای مستقیم و رله است. رله موجود در شبکه از راهبرد کدگشایی و ارسال استفاده می کند.

$$\Rightarrow f_Y(y) = \frac{A}{(A+y)^2} \quad (۹)$$

از طرفی می‌دانیم که تابع چگالی احتمال مجموع N متغیر تصادفی نمایی با پارامتر یکسان Y^2 (مانند متغیر تصادفی تداخل‌های ایجاد شده از اولیه بر مقصد ثانویه $W = \sum_{n=1}^N |h_{PU_nD}|^2$) به صورت زیر خواهد بود:

$$f_w(w) = \frac{(Y^2)^n \times w^{n-1} \times \exp(-Y^2 w)}{(n-1)!} \quad (۱۰)$$

حال $F_X(x)$ که تابع توزیع تجمعی $SINR_R$ را نشان می‌دهد، به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد. (۱۱)

$$\begin{aligned} F_X(x) &= \Pr(X \leq x) \\ &= \Pr\left(\frac{I_{th} Y}{W+n} \leq x\right) \\ &= \int_0^\infty f_w(w) \int_0^{\frac{x}{I_{th}}(w+n)} f_Y(y) dy dw \\ &= 1 - \frac{AI_{th}}{xP_{pu}} \times \frac{1}{(n-1)!} \times \frac{1}{\eta^{2n}} \times B^{n-1} \times \exp\left(\frac{B}{\eta^2}\right) \\ &\quad \times \Gamma(n) \Gamma\left(1-n, \frac{B}{\eta^2}\right) \end{aligned}$$

A و B به ترتیب به صورت $A = \frac{\alpha^2}{\epsilon^2}$ و $B = \frac{AI_{th}}{xP_{pu}} + \frac{\sigma_N^2}{P_{pu}}$

تعریف می‌شوند. به همین ترتیب برای تابع توزیع متغیر $SINR_D = Z$ داریم:

$$\begin{aligned} F_Z(z) &= \Pr(Z \leq z) \\ &= \Pr\left(\frac{I_{th} Y}{W+n} \leq x\right) \\ &= \int_0^\infty f_w(w) \int_0^{\frac{z}{I_{th}}(w+n)} f_Y(y) dy dw \quad (۱۲) \\ &= 1 - \frac{CI_{th}}{zP_{pu}} \times \frac{1}{(n-1)!} \times \frac{1}{\gamma^{2n}} \\ &\quad \times D^{n-1} \times \exp\left(\frac{D}{\gamma^2}\right) \times \Gamma(n) \Gamma\left(1-n, \frac{D}{\gamma^2}\right) \end{aligned}$$

$F_Y(y)$ تابع توزیع تجمعی متغیر $SINR_D$ معرفی می‌گردد که $C = \frac{\beta^2}{\epsilon^2}$ و $D = \frac{CI_{th}}{zP_{pu}} + \frac{\sigma_N^2}{P_{pu}}$ می‌باشد.

تابع توزیع دیگری که برای محاسبه احتمال خاموشی به آن نیاز داریم، توزیع متغیر $SINR_{MRC}$ است. در یافتن این توزیع با انتگرالی مواجه می‌شویم که به دلیل پیچیدگی با روش‌های غیرعددی قابل حل نمی‌باشد.

طبق تعریفی که از احتمال خاموشی ارائه می‌شود:

$$P_{out} = \Pr(I_D < r) \quad (۱۳)$$

مجموع نویز موجود در رله با توان σ_N^2 و تداخل ناشی از کاربران اولیه است. باید توجه داشت که، با توجه به تعداد کاربران اولیه، ما با N پیوند تداخلی مواجه خواهیم بود که در رابطه (۵) با هم جمع شده‌اند. به همین ترتیب برای $SINR_D$ نسبت سیگنال به نویز به علاوه تداخل در مقصد خواهیم داشت:

$$SINR_D = \frac{I_{th} |h_{sUD}|^2}{\sigma_N^2 + P_{pu} \sum_{n=1}^N |h_{PU_nD}|^2} \quad (۶)$$

در رابطه (۶) هم باید به این نکته توجه داشت که سیگنال‌های نامطلوب در مقصد شامل نویز کانال با واریانس σ_N^2 و سیگنال تداخل ناشی از توان ارسالی کاربران اولیه بر روی مقصد ثانویه است.

رابطه (۷) نیز نسبت سیگنال به نویز بعلاوه تداخل در مقصد را با استفاده از شیوه MRC بیان و آن را با $SINR_{MRC}$ نامگذاری کرده است. h_{RD} ضریب محوشدگی کانال رله به مقصد است.

$$SINR_{MRC} = \frac{I_{th} |h_{sUD}|^2 + I_{th} |h_{RD}|^2}{\sigma_N^2 + P_{pu} \sum_{n=1}^N |h_{PU_nD}|^2} \quad (۷)$$

احتمال آن که سیستم توانایی دریافت 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. منظور از این که اطلاعات به درستی دریافت نشود این است که نسبت سیگنال به نویز بعلاوه تداخل آن کمتر از یک میزان قابل تشخیص برای گیرنده باشد. برای محاسبه احتمال خاموشی سیستم به تابع توزیع هر یک از نسبت‌های سیگنال به نویز که در روابط (۵) تا (۷) معرفی شد، نیاز داریم.

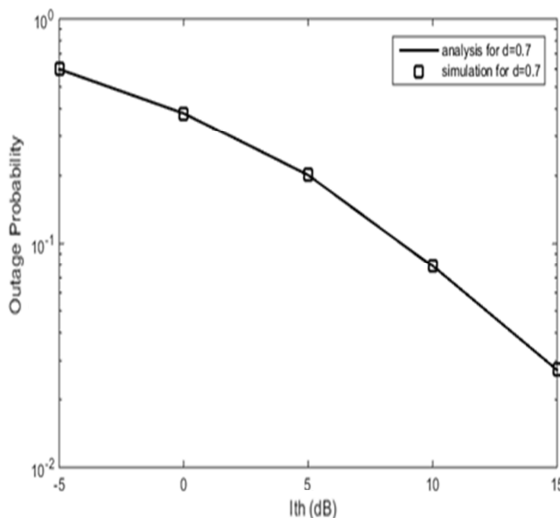
می‌دانیم هر یک از ضرایب محوشدگی h_{sUR} ، h_{RD} ، h_{sUD} ، h_{sUPD} ، h_{PUR} و h_{PUD} دارای توزیع نرمال به ترتیب با واریانس‌های α^2 ، ζ^2 ، β^2 ، ϵ^2 و γ^2 هستند.

با دانستن نرمال بودن h_{sUR} به سادگی قابل اثبات است که $|h_{sUR}|^2$ دارای توزیع نمایی خواهد بود [۱۴]. به این ترتیب می‌توان $|h_{sUR}|^2$ و $|h_{sUPD}|^2$ را متغیرهای تصادفی نمایی به ترتیب با پارامترهای λ_1 و λ_2 معرفی کرد. برای سهولت در فرمول نویسی $|h_{sUR}|^2$ و $|h_{sUPD}|^2$ را به ترتیب با X_1 و X_2 نشان می‌دهیم. اگر متغیر تصادفی Y را به صورت $Y = \frac{|h_{sUR}|^2}{|h_{sUPD}|^2}$ تعریف کنیم، خواهیم داشت:

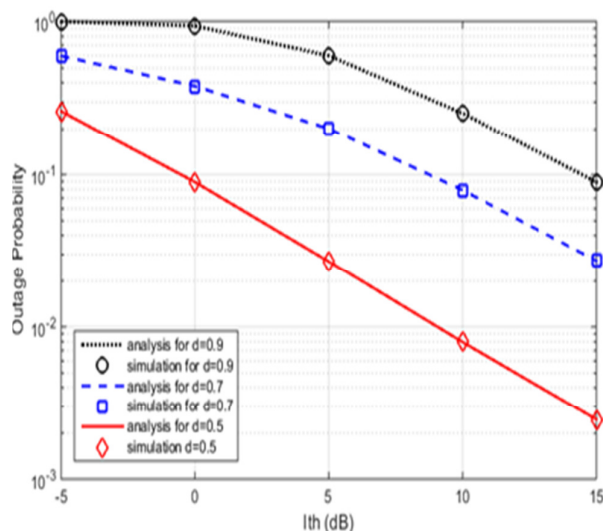
$$\begin{aligned} F_Y(y) &= \Pr(Y \leq y) = \Pr\left(\frac{X_1}{X_2} \leq y\right) = \\ &= \int_0^\infty f_{X_2}(x_2) \int_0^{x_2 y} f_{X_1}(x_1) dx_1 dx_2 = \frac{y}{A+y}, A = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (۸) \end{aligned}$$

داده r ($\frac{\text{bps}}{\text{Hz}}$)، مقدار آستانه γ_{th} زیاد خواهد شد و به تبع آن احتمال خاموشی نیز افزایش می‌یابد. این نتیجه دور از انتظار نیست، چرا که افزایش نرخ ارسال احتمال ارسال و دریافت صحیح را کمتر می‌کند.

در شکل (۵) احتمال خاموشی سیستم در حضور تعداد مختلفی از کاربران اولیه را مشاهده می‌کنیم. n تعداد کاربران اولیه است. واضح است که در حضور تعداد بیشتر از کاربران اولیه احتمال دریافت ناصحیح اطلاعات کاربر ثانویه بیشتر می‌شود، چرا که با افزایش تعداد کاربران اولیه تأثیر تداخل بر روی ارسال اطلاعات توسط شبکه ثانویه بیشتر می‌شود و این امر افزایش احتمال خاموشی را دربر دارد.



شکل (۲): نمودار تغییرات احتمال خاموشی بر حسب آستانه تداخل ماکزیمم
Fig. (2): Outage probability diagram versus maximum threshold interference



شکل (۳): نمودار تغییرات احتمال خاموشی برای مقادیر مختلف d
Fig. (3): Outage probability diagram for different d

در رابطه فوق r بازده طیفی یا نرخ هدف است. رابطه فوق به صورت زیر نیز قابل بیان است.

$$P_{out} = \Pr(\log(1 + \text{SINR}) < r) \quad (14)$$

$$= \Pr(\text{SINR} < 2^r - 1)$$

بنابراین احتمال خاموشی سیستم مورد مطالعه به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$P_{out} = [\Pr(\text{SINR}_R < \gamma_{th}) \cdot \Pr(\text{SINR}_D < \gamma_{th})] + [\Pr(\text{SINR}_R \geq \gamma_{th}) \cdot \Pr(\text{SINR}_{MRC} < \gamma_{th})] \quad (15)$$

در رابطه فوق $\gamma_{th} = 2^{2r} - 1$ می‌باشد. ضریب ۲ به دلیل ارسال اطلاعات در دو شیار زمانی است که موجب نصف شدن متقابل بین منبع و مقصد می‌شود. اطلاعات متقابل یک حد آستانه از پیش تعیین شده است که کمتر بودن نسبت سیگنال به نویز به علاوه تداخل از این آستانه نشان‌دهنده خاموشی پیوند مورد نظر خواهد بود یا به طور معادل نرخ آرسالی از ظرفیت پیوند بیشتر است.

بنابراین اگر متغیرهای تصادفی $X = \text{SINR}_R$ و $Y = \text{SINR}_D$ و $U = \text{SINR}_{MRC}$ را تعریف کنیم، رابطه (۱۳) به صورت رابطه‌ای از توابع توزیع تجمعی این متغیرهای تصادفی قابل بازنویسی خواهد بود.

$$P_{out} = F_X(\gamma_{th}) F_Y(\gamma_{th}) + (1 - F_X(\gamma_{th})) F_U(\gamma_{th}) \quad (16)$$

با توجه به محاسبه توابع توزیع تجمعی متغیر X و Y در روابط (۱۱) و (۱۲) احتمال خاموشی در رابطه فوق قابل محاسبه است.

۴- شبیه‌سازی

این مقاله، اثر پیوند تداخلی کاربران اولیه بر روی مقصد ثانویه را مورد بررسی قرار داده است. در ادامه این بخش در نتایج تحلیل و شبیه‌سازی این اثر بررسی می‌شود. یادآور می‌شویم که برای شبیه‌سازی احتمالات خاموشی، نمودارها پس از تکرار 10^7 بار آزمایش تصادفی و میانگین‌گیری از نتایج حاصل شده است.

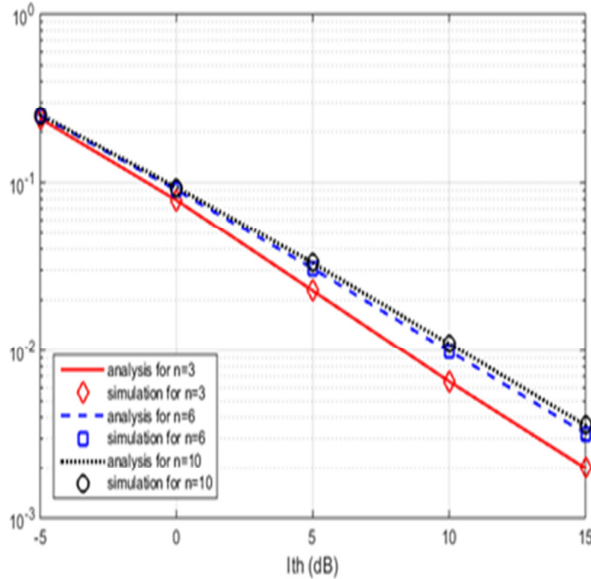
در شکل (۲) احتمال خاموشی سیستم بر حسب حداکثر آستانه تداخل متفاوت در بازه $[-5, 15]$ dB، رسم شده است. همانطور که از شکل مشخص است احتمال خاموشی بر حسب آستانه تداخل به صورت نزولی است. به عبارت دیگر با افزایش میزان آستانه تداخل، که در این جا به صورت dB آورده شده است، احتمال خاموشی سیستم کاهش می‌یابد.

بنابراین هرچه فرستنده‌های ثانویه در ارسال توان آزادتر باشند می‌توانند احتمال خاموشی سیستم ثانویه را کاهش دهند.

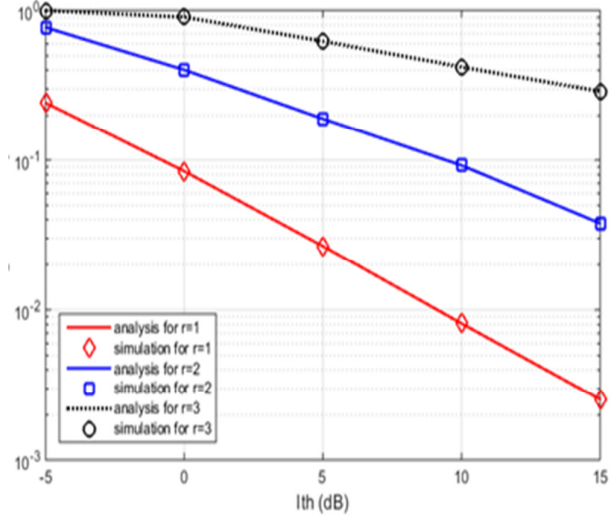
شکل (۳) تأثیر فاصله کاربر تا رله را بر میزان احتمال خاموشی بررسی می‌کند. همان طور که مشخص است با افزایش فاصله d احتمال خاموشی افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه از روش کد گشایی و گسیل استفاده می‌کنیم با افزایش فاصله تا رله، امکان کدگشایی بهتر برای رله فراهم نخواهد بود و منجر به افزایش احتمال خاموشی خواهد شد.

شکل (۴) نیز تأثیر نرخ ارسال داده (بازده طیفی) را در احتمال خاموشی سیستم نشان می‌دهد. بر طبق این نتایج با افزایش نرخ ارسال

شبیه‌سازی در نرم‌افزار مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از این دو نظر کاملاً بر هم منطبق بوده است. با توجه به این که در اینجا ما راهبرد کدگشایی و گسیل را برای رله کردن انتخاب کردیم، در ادامه این پژوهش می‌توان احتمال خاموشی را برای راهبرد تقویت و گسیل را نیز محاسبه کرد. در این راهبرد رله سیگنال دریافتی را با یک ضریب تقویت می‌کند و به مقصد می‌فرستد. بنابراین با انتخاب راهبرد تقویت و گسیل روابط نوشته شده برای احتمال خاموشی تغییر خواهند کرد.



شکل (۵): نمودار تغییرات احتمال خاموشی در مقادیر مختلف n
Fig. (5): Outage probability diagram for different n



شکل (۴): نمودار تغییرات احتمال خاموشی در مقادیر مختلف نرخ ارسال داده
Fig. (4): Outage probability diagram for different r.

۵- نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین نتایجی که از روابط و در نهایت از نتایج شبیه‌سازی‌ها آورده شده در این مقاله می‌توان استنباط کرد، کاهش احتمال خاموشی با افزایش آستانه تداخل است. پس از مشاهده روند نزولی منحنی احتمال خاموشی به ازای افزایش آستانه تداخل، تأثیر پارامترهای دیگر از جمله فاصله کاربر تا رله، نرخ ارسال داده، تعداد کاربران اولیه و مقصد اولیه بر روی احتمال قطع سیستم بیان شده است. در نهایت روشن شد که افزایش فاصله کاربر تا رله سبب افزایش احتمال خاموشی می‌شود. همچنین، افزایش تعداد کاربران اولیه احتمال خاموشی را بیشتر می‌نماید و نیز افزایش نرخ ارسال اطلاعات نیز به وضوح احتمال خاموشی را افزایش می‌دهد. در انتها این نکته را یادآور می‌شویم که نتایج بالا هم از نظر تحلیل روابط و هم از نظر

References

- [1] Z. Zhang, "Partial converse for a relay channel", IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 34, No. 5, pp.1106-1110, May 1988.
- [2] A. Høst-Madsen, J. Zhang, "Capacity bounds and power allocation for wireless relay channels", IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 51, No. 6, pp. 2020-2040, Jun. 2005.
- [3] O. Simeone, J. Gambini, Y. Bar-Ness, U. Spagnolini, "Cooperation and cognitive radio", Proceeding of the IEEE/ICC, Glasgow, UK, pp. 6511-6515, Jun. 2007.
- [4] D. Hu, S. Mao, "Cooperative relay in cognitive radio networks: Decode-and-forward or amplify-and-forward?", Proceeding of the IEEE/ GLOBECOM, Miami, FL, USA, Dec. 2010.
- [5] Y. Guo, G. Kang, N. Zhang, W. Zhou, P. Zhang, "Outage performance of relay-assisted cognitive-radio system under, spectrum-sharing constraints", Electronic Letter, Vol. 46, No. 2, pp. 182-184, Jan. 2010.
- [6] T.T. Duy, G.C. Alexandropoulos, V.T. Tung, V.N. Son, T.Q. Duong, "Outage performance of cognitive cooperative networks with relay selection over double-Rayleigh fading channels", IET Communications, Vol. 10, No. 1, pp. 57-64, Jan. 2016.
- [7] K. Sohaib, Y. Choi, Y. Han, "Outage improvement in cognitive relay networks by using a generalized regional model", Proceeding of the IEEE/VTC, pp. 1-5, Ottawa, ON, Canada, Sep. 2010.
- [8] L. Fan, X. Lei, T.Q. Duong, R.Q. Hu, M. ElKashlan, "Multiuser cognitive relay networks: Joint impact of direct and relay communications", IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol. 13, No. 9, pp. 5043-5055, Sep. 2014.
- [9] S. Sagong, J. Lee, D. Hong, "Capacity of reactive DF scheme in cognitive relay networks", IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol. 10, No. 10, pp. 1536-1276, Oct. 2011.

- [10] J. Lee, H. Wang, J.G. Andrews, D. Hong, "Outage probability of cognitive relay networks with interference constraints", IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol. 10, No. 2, pp. 390-395, Feb. 2011.
- [11] F.R.V. Guimaraes, D.B Costa , T.A. Tsiftsis, C.C Cavalcante, G.K. karagiannidis, "Multiuser and multirelay cognitive radio networks under spectrum-sharing constraints", IEEE Trans.Vehicular on Technology, Vol. 63, No. 1, pp. 433-439, Jan. 2014.
- [12] A. Alizadeh, S.M.S. Sadough, "Power minimization in uni-directional relay networks with cognitive radio capabilities", Proceeding of the IEEE/IST, Tehran, Iran, 2010.
- [13] N. Sadeghi, R. Aghajani, "Effect of primary interference on cognitive relay network", Ciencia & Natura, Vol. 37, pp. 214-219, Dec. 2015.
- [14] A. Leon-Garcia, "Probability, statistics, and random processes for electrical engineering", Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall, 2008.

