

مدل سازی جمر نویزی در کلاس‌های مختلف سامانه‌های مخابراتی

رسول حاجی زاده^{۱*} و سید مهدی حسینی اندارگلی^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: پژوهشی دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۲ بازنگری مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۱۹ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵</p>	<p>در این مقاله، به مدل‌سازی جمر نویزی بر روی سامانه‌های مخابراتی آنالوگ AM متداول، FM، و سامانه‌های مخابراتی دیجیتال معمولی و طیف گسترده پرداخته شده و عملکرد آن ارزیابی می‌گردد. ارزیابی‌های صورت گرفته در این مقاله، بر اساس دو مدل کانال دید مستقیم و کانال دو مسیره two-ray است. در مدل کانال دو مسیره two-ray، سیگنال به نویز دریافتی، به توان دوم ارتفاع آنتن‌های فرستنده و جمر و توان چهارم فاصله وابسته است. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی، نشان‌دهنده تفاوت آشکار سیگنال به نویز دریافتی در گیرنده‌ها، تحت این دو مدل کانال است. از طرف دیگر، با محاسبه میزان سیگنال به نویز دریافتی در خروجی آشکارساز، اثر بهره پردازشی کلاس‌های گوناگون سامانه‌های مخابراتی، در کاهش اثر مخرب جمرهای نویزی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. در مدل‌سازی صورت گرفته، پارامترها متناسب با شرایط واقعی بارگذاری شده و نتایج می‌تواند در طراحی ساختارهای مخابراتی و جمرهای نویزی به کار گرفته شود. نتایج به دست آمده، نشان‌دهنده کارایی مناسب تکنیک‌های FM و طیف گسترده در غلبه بر نویز و سیگنال‌های جمر است.</p>
<p>واژگان کلیدی: جمر نویزی، مدل‌سازی، سامانه‌های مخابراتی، کانال دیدمستقیم، کانال دو مسیره.</p>	

۱-مقدمه

یکی از ابزار پرکاربرد در دنیای امروز، سامانه‌های ارتباطی مخابراتی بی‌سیم است که جهت انتقال اطلاعات، صوت و تصویر به صورت برخط^۲ و برون خط^۳ به کار گرفته می‌شوند. امروزه، تکنیک‌ها و الگوریتم‌های متعددی در سامانه‌های مخابراتی-الکترونیکی به کار گرفته می‌شوند تا بتوانند ارتباطی امن، پایدار، با کمترین پهنای باند مورد نیاز و کمترین توان مصرفی را فراهم نمایند [۱، ۲].

از جمله سامانه‌های مخابراتی می‌توان به موارد زیر اشاره داشت: شبکه ارتباطی تلفن‌های همراه، سامانه‌های ارتباطی بُرد کوتاه جهت استفاده در مناطق محدود، سامانه‌های ارتباطی بُرد بلند جهت برقراری ارتباط مابین سکوهای نفتی و گازی، سامانه‌های ارتباطی بسیار بُرد بلند ماورای

افق، جهت ارتباط با نقاط بسیار دور دست و خارج از دید افق و انواع دیگر سامانه‌های ارتباطی. همچنین، سامانه‌های مخابراتی در صنایع نظامی، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند چراکه همواره دریافت اطلاعات از صحنه نبرد و برقراری ارتباط مابین بخش فرماندهی و نیروها، از مهمترین عوامل تاثیرگذار در پیروزی در نبرد است. بنابراین، ایجاد اختلال در عملکرد سامانه‌های ارتباطی نیروها و قطع ارتباط نیروها با بخش فرماندهی، می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری به آنها وارد نماید. یکی از تکنیک‌های مطرح در این راستا استفاده از جمرهای نویزی جهت اختلال در عملکرد سامانه‌های مخابراتی است. این نوع از جمرها، تنها از فرکانس و پهنای باند سامانه‌های ارتباطی مطلع بوده و با تولید سیگنال در باند فرکانسی سامانه‌های مخابراتی و با

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: r.hajizadeh@ausmt.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده مهندسی فناوریهای نوین، دانشگاه تخصصی فناوریهای

نوین آمل

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

² On-Line

³ Off-Line

مصنوعی مستقر بر سکوی پرتابه‌ای پرداخته‌اند [۸]. در [۸]، با استفاده از جمر ساکن مستقر بر روی زمین، روشی جهت جمینگ فریب‌علیه رادار روزنه مصنوعی پرداخته شده است. نتایج این مقاله، در پدافند غیرعامل علیه رادارهای دشمن قابل به‌کارگیری است.

در تحقیق‌های پیشین صورت گرفته، بررسی جامعی در مورد مدل‌سازی و نحوه عملکرد جمر مخابراتی بر کلاس‌های گوناگون سامانه‌های مخابراتی صورت نگرفته و در موارد خاص نیز، عموماً از مدل کانال مخابراتی دیدمستقیم استفاده شده است، در حالیکه مدل کانال دومسیره two-ray، در بسیاری از کاربردها برقرار بوده و هیچ‌گونه بررسی در این راستا صورت نگرفته است. در این مقاله، ما به دنبال مدل‌سازی و ارزیابی جمر نویزی بر عملکرد انواع کلاس‌های مخابراتی تحت دو مدل کانال دیدمستقیم و کانال دو مسیره two-ray هستیم. مدل کانال two-ray، یک مدل کانال متداول در سامانه‌های مخابراتی دریایی سطحی و ارتباطات زمینی در فضاهای نسبتاً خلوت بوده که در آن سیگنال دریافتی از طریق دو مسیر غالب به‌گیرنده رسیده و رفتار کانال، متناسب با توان دوم ارتفاع آنتن‌های فرستنده-گیرنده است [۹]. میلیند رائو^۴ و همکارانش، به آنالیز مدل کانال فیدینگ two-ray توسعه‌یافته، با استفاده از تابع مولد گشتاور^۵ پرداخته و فرم بسته‌ای برای تولید گشتاورهای سیگنال به نویز تحت مدل کانال tow-ray معرفی نموده است که تحلیل آن را آسان می‌نماید [۱۰]. در [۱۱]، مدل کانال فیدینگ two-ray نوسانی معرفی شده است. نتایج به‌دست آمده در فرکانس ۲۸ گیگاهرتزی، نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهتر مدل معرفی شده نسبت به مدل کانال رایس، جهت مدل‌سازی کانال فیدینگ مقیاس-کوچک است. ارزیابی‌های صورت گرفته، بر اساس میزان نرخ خطای بیت و ظرفیت تخلیه^۶ است. در [۱۲]، مقایسه‌ای مابین مدل کانال دومسیره (two-ray) و کانال دید مستقیم (LOS) صورت گرفته و نشان داده شده است که مدل کانال two-ray به مقادیر اندازه‌گیری شده عملی، در سطح دریا، نزدیکتر است. همچنین باید اشاره داشت که مدل کانال two-ray، در بزرگراه‌ها و مناطقی که موانع چندانی وجود ندارند نیز قابل استفاده است.

توانی نسبتاً بالا به اختلال سامانه‌های مخابراتی دشمن می‌پردازند. اطلاعات مربوط به فرکانس و پهنای باند سامانه‌های ارتباطی توسط شنودگرها استخراج شده و در اختیار جمرها قرار می‌گیرند.

مطالعات زیادی بر روی انواع تکنیک‌های جمینگ، آنتی‌جمینگ و دسته‌بندی آنها صورت گرفته است [۳-۱۵]. در [۳]، مروری بر تکنیک‌های جمینگ و آنتی‌جمینگ در شبکه‌های بی‌سیم ارائه شده است. در این مقاله مروری، تاثیر جمر مخابراتی مبتنی بر نوع جمر و مکان‌یابی جمر مورد ارزیابی و دسته‌بندی قرار گرفته است. در [۴]، اثر جمر بر سامانه مخابراتی دیجیتال متداول و به ازای مدولاسیون‌های مختلف و مبتنی بر نرم‌افزار OPNET مورد بررسی قرار گرفته است. در [۴]، میزان توان جمر دریافتی و سیگنال به نویز دریافتی در گیرنده، مقدار نرخ خطای بیت و میزان گزردهی^۱، به ازای مدولاسیون‌های QPSK, BPSK, DPSK, 64QAM, 16QAM, 8PSK و GMSK و به ازای مقادیر متفاوت توان جمر، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در [۵] نیز، به دسته‌بندی انواع جمر بر حسب وابستگی زمانی، توانایی آموزش، آگاهی از پروتکل ارتباطی و استفاده و یا عدم استفاده از شنودگر پرداخته و به معرفی و دسته‌بندی ظرفیت انواع جمرها و توانایی آنها جهت مقابله با سامانه‌های ارتباطی پرداخته است.

در [۶]، روشی جهت مقابله با جمرهای واکنشی^۲، که با حضور فرستنده-گیرنده‌های مخابراتی فعال می‌گردند، پیشنهاد می‌گردد. این روش، توانایی مقابله با جمرهای با توان بالا و باند فرکانسی وسیع را دارا است. هونگ هوانگ^۳ و همکارانش، به بررسی میزان ظرفیت شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم، در حضور جمر توزیع‌یافته پرداخته است [۷]. در [۷]، ساختار مخابراتی بهینه‌ای، جهت دستیابی به بیشترین ظرفیت شبکه مخابراتی معرفی شده است. همچنین، شبکه‌های مخابراتی از نظر بهره‌وری توان نیز مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. از نتایج [۷]، می‌توان در طراحی پروتکل‌های شبکه‌های مخابراتی جهت مقابله با جمرهای توزیع‌یافته بهره برد. عسکری و کازرونی، به بررسی و تحلیل جمینگ شیفت فرکانس دوبعدی در تصاویر یک رادار روزنه

⁴ Milind Rao

⁵ Moment Generating Function

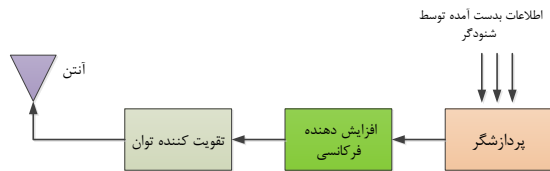
⁶ Outage Capacity

¹ Throughput

² Reactive

³ Hong Huang

تصادفی IF و یا باند پایه را عهده دارا بوده و تولید سیگنال، متناسب با نحوه طراحی جمر مخابراتی است. پردازشگر با بهره‌گیری از اطلاعاتی که توسط شنودگر در اختیار آن قرار می‌گیرد، به تنظیم فرکانس و پهنای باند سیگنال تولیدی می‌پردازد. سنجش طیف یکی از تکنیک‌هایی است که در شنودگرها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۶].



شکل ۱- بلوک دیاگرام جمر مخابراتی.

در ادامه، افزایش‌دهنده فرکانسی، وظیفه انتقال باند فرکانسی سیگنال تولیدی پردازشگر به باند فرکانسی مورد نظر را دارد. این زیربخش، شامل سنتزکننده فرکانسی، مخلوط کننده فرکانسی و فیلترهای میان‌گذر است. همچنین در برخی از سامانه‌های جمر مخابراتی، عمل انتقال باند فرکانسی در دو مرحله صورت می‌پذیرد که بخشی از آن توسط افزایش‌دهنده فرکانسی^۱ موجود در پردازشگرها صورت می‌پذیرد. با استفاده از ساختار دو مرحله‌ای انتقال فرکانسی، دست‌یابی به دقت فرکانسی بالاتر و همچنین کاهش هزینه‌های حاصل از سنتزکننده فرکانسی امکان‌پذیر خواهد بود. سیگنال تولیدی توسط پردازشگر، پس از انتقال به باند فرکانسی بالا، به تقویت‌کننده‌ی توان تحویل می‌شود. تقویت‌کننده توان، از مهمترین بخش‌های جمر مخابراتی است، که میزان توان خروجی جمر را تعیین می‌نماید. بدیهی است که با افزایش توان خروجی تقویت‌کننده توان، اثرگذاری جمر مخابراتی در اخلال سامانه‌های مخابراتی افزایش خواهد یافت. افزایش وزن و حجم تقویت‌کننده توان و خنک‌سازی آن، از گلوگاه‌ها و محدودیت‌های به کارگیری تقویت‌کننده‌های با توان بالا است. پس از تولید سیگنال توسط پردازشگر، انتقال به باند فرکانسی مورد نظر و تقویت آن، سیگنال خروجی تقویت‌کننده، با استفاده از یک آنتن جهتدار، که از بهره نسبتاً بالایی برخوردار است، در راستای مورد نظر، انتشار می‌یابد.

عموماً، سامانه‌های مخابراتی در باند UHF و VHF بوده و به کارگیری تقویت‌کننده RF با توان دلخواه امکان‌پذیر

نبود سنجش واحدی از عملکرد انواع سیستم‌های مخابراتی در حضور جمر و تحت مدل کانال دومسیره، که در بسیاری از مدل‌های مخابراتی مطرح است، نیاز به این مطالعه و بررسی را ایجاد نموده است. در این مقاله، به معرفی ساختاری جهت مدل‌سازی و سنجش کارایی سامانه‌هایی ارتباطی گوناگون متفاوت و به کارگیری نتایج آن در طراحی سیستم‌ها و جمرهای مخابراتی پرداخته شده است. نوآوری‌های صورت گرفته در این مقاله را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- مدل‌سازی و بررسی عملکرد جمر نویزی تحت مدل کانال دومسیره two-ray و مقایسه آن با مدل کانال دید مستقیم،
 - مقایسه عملکرد کلاس‌های گوناگون سامانه‌های ارتباطی در برابر جمر نویزی و ارزیابی میزان توانایی بهره‌برداری سامانه‌های ارتباطی.
- در این مقاله سیگنال نویز دریافتی در سامانه‌های مخابراتی آنالوگ AM، FM، دیجیتال معمولی و سامانه‌های طیف گسترده مورد ارزیابی قرار گرفته است.
- ادامه مقاله، به صورت زیر تدوین گردیده است. در بخش ۲ به معرفی ساختار و مدل جمر نویزی، مدل کانال two-ray و مقایسه آن با مدل کانال دیدمستقیم پرداخته شده است. نحوه تاثیرگذاری جمر مخابراتی نویزی بر کلاس‌های مختلف مخابراتی، در بخش ۳ بیان شده است. در بخش ۴ نیز، نتایج ارزیابی‌های صورت گرفته بر روی کلاس‌های گوناگون مخابراتی نشان داده شده است. در آخر، به جمع بندی و نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

۲- جمر نویزی و مدل کانال‌های دیدمستقیم و two-ray

در این بخش ابتدا به معرفی زیربخش‌های جمر نویزی و وظیفه هر یک از آنها پرداخته و در ادامه دو مدل کانال دیدمستقیم و دومسیره معرفی می‌گردند.

۲-۱- جمر نویزی

ساختار کلی یک جمر مخابراتی در شکل (۱) نشان داده شده است.

جمر مخابراتی از زیربخش‌های اساسی پردازشگر مرکزی، افزایش‌دهنده فرکانسی، تقویت‌کننده توان RF و یک آنتن جهتدار تشکیل می‌گردد. پردازشگر وظیفه تولید سیگنال

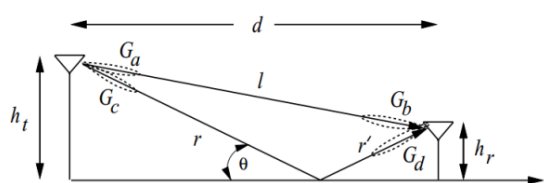
^۱Digital Upconverter

فرکانس به صورت زیر قابل بیان است [۱۸].

$$G_{antenna} = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (2)$$

که در آن $G_{antenna}$ بهره آنتن، A_e سطح موثر آنتن و λ بیانگر طول موج است. همانطور که از رابطه بالا نیز قابل مشاهده است با افزایش فرکانس، بهره آن نیز با توان دوم فرکانس افزایش می‌یابد.

مدل کانال دید مستقیم، تا زمانی که ارتفاع آنتن‌ها به اندازه کافی بالا است و سیگنال بازگشتی از سطح با دامنه نسبتاً بالایی وجود ندارد، از دقت بالایی برخوردار خواهد بود. اما در صورتیکه، ارتفاع آنتن‌ها کم بوده و نزدیک به سطح (زمین یا دریا) قرار گیرد، دیگر نمی‌توان از این مدل بهره برد. در این حالت علاوه بر دریافت سیگنالی با دامنه بالا در مسیر دید مستقیم، سیگنال غالب دیگری نیز از مسیر بازگشتی از سطح، به گیرنده خواهد رسید. در این حالت کانال به صورت مدل دو مسیره two-ray مدل می‌شود. شکل (۳)، مدل کانال دو مسیره two-ray را نشان می‌دهد.



شکل ۳- مدل کانال two-ray [۷].

بر اساس این مدل، سیگنال دریافتی در گیرنده به صورت زیر قابل بیان است [۷].

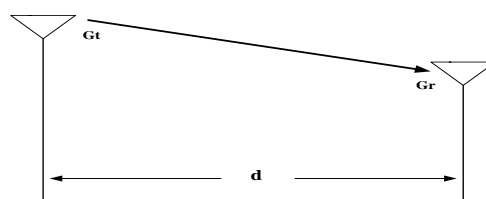
$$r_{2ray}(t) = \Re \left\{ \frac{\lambda}{4\pi} \left(\frac{\sqrt{G_l} u(t) e^{j(2\pi l/\lambda)}}{l} + \frac{R\sqrt{G_k} u(t - \tau) e^{j(2\pi(r+r')/\lambda)}}{r+r'} \right) e^{j(2\pi f_c t + \phi_0)} \right\} \quad (3)$$

که در آن $\Re\{\varphi\}$ بیانگر بخش حقیقی φ ، λ طول موج، $G_l = G_a * G_b$ حاصلضرب بهره آنتن‌های فرستنده (G_a) و گیرنده (G_b) در مسیر مستقیم، $G_k = G_c * G_d$ حاصلضرب بهره آنتن‌های فرستنده (G_c) و گیرنده (G_d) در مسیر بازتابشی، l فاصله فرستنده و گیرنده به صورت دید مستقیم، $r + r'$ فاصله بین فرستنده و گیرنده در مسیر بازتابشی ($r + r' > l$)، $u(t)$ سیگنال ارسالی در باند پایه، R ضریب بازتابش سطح، f_c فرکانس حامل، ϕ_0 فاز

نیست. از طرفی، نمی‌توان به آنتنی با بهره بسیار بالا، در این باندها دست یافت چراکه نیاز به آنتنی با طول بسیار بالا خواهد بود. همچنین، در جمرها، از مفهومی به نام توان موثر تشعشعی^۱ استفاده می‌گردد که بیانگر حاصلضرب توان تقویت‌کننده و بهره آنتن است [۱۷]. در واقع، ERP بالاتر بیانگر توان عملکردی بالاتر جمر مخابراتی است.

۲-۲- کانال‌های دید مستقیم و two-ray

بیشتر سامانه‌های مخابراتی موجود در فضاهای بدون موانع و یا با موانع کم، مبتنی بر مدل کانال فضای آزاد دید مستقیم مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند. این مدل عموماً در صورتی که مابین فرستنده و گیرنده، دید مستقیم وجود داشته و مانعی در مسیر وجود نداشته باشد برقرار خواهد بود. در این حالت، سیگنال ارسالی از فرستنده تنها و از طریق یک مسیر غالب توسط گیرنده دریافت می‌شود. در شکل (۲) یک کانال دیدمستقیم نشان داده شده است.



شکل ۲- نمونه‌ای از کانال دیدمستقیم.

نسبت توان دریافتی به توان ارسالی در مدل کانال LoS، بر حسب مشخصات فرستنده-گیرنده و فاصله‌ی آنها، به صورت رابطه زیر است:

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (1)$$

که G_t بهره آنتن فرستنده، G_r بهره آنتن گیرنده، d فاصله مابین فرستنده و گیرنده بر حسب متر، $\lambda = \frac{c}{f_c}$ طول موج کاری فرستنده-گیرنده، P_t توان ارسالی فرستنده و P_r توان دریافتی در گیرنده است. در این مدل، توان دریافتی در گیرنده متناسب با توان دوم فاصله‌ی مابین فرستنده و گیرنده کاهش می‌یابد. همچنین توان دریافتی با توان دوم فرکانس سامانه ارتباطی نیز کاهش می‌یابد. اما، عموماً به ازای طول ثابت آنتن‌های فرستنده و گیرنده، بهره آنها با افزایش فرکانس، افزایش یافته و افت حاصل از افزایش فرکانس را جبران می‌نماید. رابطه‌ی تقریبی بهره آنتن با

^۱ Effective Radiated Power

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + 10\log(G_l) + 20\log(h_t h_r) - 40\log(d) \quad (7)$$

بر اساس دو رابطه (۶) و (۷)، با ۱۰ برابر شدن فاصله بین فرستنده-گیرنده و با فرض بدون تغییر ماندن سایر پارامترها، توان دریافتی در مدل کانال two-ray نسبت به مدل کانال LoS به اندازه ۲۰ dB افت بیشتری برخوردار خواهد بود که مقدار بسیار بزرگی است. بنابراین، فاصله میان فرستنده و گیرنده، در مدل کانال two-ray، از اهمیت بالایی برخوردار بوده و بر تاثیرگذاری جمرهای نویزی بر عملکرد سامانه‌های ارتباطی بسیار موثر است.

۳- مدل سازی و ارزیابی جمر نویزی بر عملکرد کلاس‌های گوناگون سامانه‌های مخابراتی

سامانه‌های مخابراتی آنالوگ AM و FM، بیشتر در انتقال داده‌های با پهنای باند کم و سیگنال‌های صوتی مورد استفاده قرار گرفته و از اولین سامانه‌های ارتباطی هستند. سامانه مخابراتی AM یک سامانه ارتباطی باند باریک است که در آن سیگنال پیام بر روی دامنه سیگنال حامل مدوله می‌گردد. از جمله سامانه‌های مخابراتی AM می‌توان به سامانه‌های AM معمولی، DSB، SSB و VSB اشاره داشت.

در سامانه‌های ارتباطی FM، پیام ارسالی بر روی فرکانس سیگنال حامل مدوله می‌شود. پهنای باند سامانه‌های ارتباطی FM به مراتب وسیع‌تر از پهنای باند پیام ارسالی بوده و به نوعی یک سامانه ارتباطی طیف گسترده است. در واقع، این افزایش پهنای باند، منجر به حصول بهره‌ی پردازشی در سامانه‌های ارتباطی FM، می‌گردد.

امروزه، استفاده از سامانه‌های مخابراتی دیجیتال معمولی و طیف گسترده بسیار متداول‌تر از سامانه‌های آنالوگ است. سامانه‌های مخابراتی دیجیتال معمولی، عموماً از پهنای باندی در حدود پهنای باند پیام ارسالی، برخوردار هستند. اما سامانه‌های مخابراتی طیف گسترده، همان‌گونه که نامگذاری شده است، پیام را به گونه‌ای مدوله می‌نمایند که سیگنال ارسالی، پهنای باندی به مراتب وسیع‌تر از پیام خواهد داشت. از جمله تکنیک‌های مطرح در سامانه‌های طیف گسترده، سامانه طیف گسترده دنباله مستقیم^۱ (DSSS) و سامانه طیف گسترده با پرش فرکانسی^۲

اولیه حامل و $r_{2ray}(t)$ سیگنال دریافتی است. با کمی ساده‌سازی و با فرض بیشتر بودن فاصله مابین فرستنده-گیرنده از یک فاصله حیاتی d_c ، رابطه میان توان دریافتی و توان ارسالی در مدل کانال two-ray، به صورت زیر قابل تقریب است:

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_l(h_t h_r)^2}{d^4}, \quad \text{subject to: } d > d_c \quad (4)$$

که در آن ارتفاع آنتن فرستنده، h_t ارتفاع آنتن گیرنده و d فاصله مابین فرستنده و گیرنده است. فاصله حیاتی d_c ، به ازای وجود اختلاف فاز π مابین سیگنال مسیر مستقیم و بازتابشی، از رابطه (۵) قابل محاسبه است [۹]:

$$d_c = \frac{4h_t h_r}{\lambda} \quad (5)$$

در این مدل کانال، افت توان سیگنال ارسالی متناسب با توان چهارم فاصله مابین فرستنده و گیرنده بوده و تغییر فاصله در آن، نسبت به مدل کانال LoS بسیار تاثیرگذارتر است. همچنین، در مدل کانال two-ray، توان دریافتی متناسب با توان دوم ارتفاع آنتن‌های فرستنده و گیرنده است که در فواصل نزدیک‌تر می‌تواند موجب بهبود توان سیگنال دریافتی نیز شود.

یکی دیگر از نکاتی که در مدل کانال two-ray باید به آن اشاره داشت، استقلال توان دریافتی، از فرکانس حامل است. البته، فرکانس حامل، در تعیین فاصله حیاتی نقش ایفا می‌نماید. توان دریافتی در مدل کانال two-ray، در فواصل کمتر از فاصله حیاتی d_c رفتاری مشابه رفتار چندمسیری داشته و بر اساس رابطه (۳) قابل محاسبه است. در ادامه، جهت مقایسه‌ای بهتر بین مدل کانال LoS و two-ray، توان دریافتی بر حسب dBm برای هر دو مدل کانال بیان گردیده است.

رابطه توان دریافتی (dBm) به ازای مدل کانال LoS برابر است با:

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + 10\log(G_t G_r) + 20\log(\lambda) - 20\log(d) - 22 \quad (6)$$

و رابطه توان دریافتی (dBm) به ازای مدل کانال two-ray برابر است با:

² Frequency Hopping Spread Spectrum

¹ Direct Sequence Spread Spectrum

حضور جمر نویزی، متناسب با سیگنال به نویز دریافتی در خروجی آشکارساز گیرنده ی سامانه های مخابراتی، مدل سازی و مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. با فرض همه جهت بودن آنتن گیرنده در سمت (که فرض متعارفی در سامانه های ارتباطی است)، که منجر به دریافت سیگنال های جمر و فرستنده با بهره ی آنتن یکسان در گیرنده شده، و با فرض پهنای باند یکسان جمر با پهنای باند سیگنال ارسالی؛ SINR دریافتی در خروجی آشکارساز گیرنده های مخابراتی، تحت دو مدل کانال LoS و two-ray، به صورت زیر قابل بیان است:

$$SINR_{LoS} = \frac{P_t * G_t * G_r * \lambda^2}{(4\pi d)^2 * L} \tag{۸}$$

$$= \frac{P_j * G_j * G_r * \lambda^2}{(4\pi d_j)^2 * L * G_p} + K * T * BW_s * NF$$

$$= \frac{ERP_j * G_r * \lambda^2}{(4\pi d_j)^2 * L * G_p} + P_N$$

که در آن L بیانگر تلفات اتصالات RF گیرنده، NF عدد نویز گیرنده، BW_s پهنای باند معادل نویز گیرنده، d فاصله فرستنده-گیرنده مخابراتی، d_j فاصله جمر از گیرنده مخابراتی، P_t توان ارسالی فرستنده مخابراتی، G_t بهره آنتن فرستنده مخابراتی، G_r بهره آنتن گیرنده، G_p بهره ی پردازشی است که با استفاده از تکنیک های متفاوت به کار گرفته شده در سامانه مخابراتی حاصل می شود، λ طول موج و ERP_j حاصل ضرب توان خروجی جمر (P_j) و بهره آنتن جمر (G_j) است. K ثابت بولتزمن، T دمای معادل نویز بر حسب کلوین و $P_N = K * T * BW_s * NF$ توان معادل نویز است.

سیگنال به نویز دریافتی، تحت مدل کانال دو مسیره two-ray نیز به صورت زیر قابل بیان است،

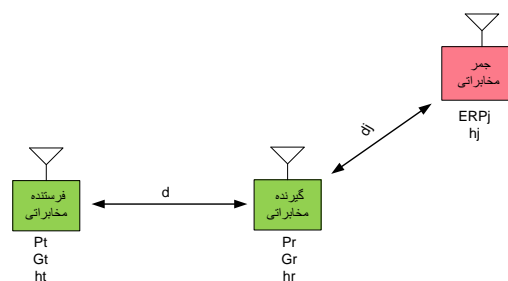
$$SINR_{2-ray} = \frac{P_t * G_t * G_r * (h_t h_r)^2}{d^4 * L} \tag{۹}$$

$$= \frac{P_j * G_j * G_r * (h_j h_r)^2}{d_j^4 * L * G_p} + K * T * BW_s * NF$$

$$= \frac{ERP_j * G_r * (h_j h_r)^2}{d_j^4 * L * G_p} + P_N$$

(FHSS) است. تکنیک طیف گسترده دنباله مستقیم، با ضرب سیگنال ارسالی، در یک دنباله شبه تصادفی با پهنای باند وسیع، به گسترش طیف سیگنال ارسالی پرداخته و در گیرنده نیز، مجدداً با ضرب دنباله شبه تصادفی در سیگنال دریافتی به آشکارسازی سیگنال دریافتی می پردازد. در DSSS، عموماً از مدولاسیون های خانواده PSK استفاده می شود. سامانه طیف گسترده پرش فرکانسی نیز با استفاده از شبه کدی تصادفی، فرکانس سیگنال حامل را در پهنای باند نسبتاً وسیعی تغییر می دهد. نرخ پرش فرکانسی می تواند کمتر و یا بیشتر از نرخ ارسال پیام ارسالی باشد. در گیرنده FHSS نیز، با استفاده از شبه کدی تصادفی مشابه فرستنده، پیام ارسالی آشکار می گردد. در FHSS نیز، عموماً از مدولاسیون خانواده FSK استفاده می شود. سامانه های طیف گسترده، با افزایش پهنای باند ارسالی، موجب کاهش سطح چگالی طیف توان سیگنال ارسالی در گیرنده های شنودگر (حتی زیر سطح چگالی طیف توان نویز) خواهند شد، در حالیکه گیرنده های خودی با آگاهی از کدهای گسترش طیف و بهره گیری از مدارات همزمان سازی کد، سیگنال را از حالت طیف گسترده خارج نموده و به سیگنال به نویز مناسب جهت آشکارسازی صحیح دست می یابند. به طور کلی، سامانه های ارتباطی AM و دیجیتال معمولی از بهره پردازشی چندانی برخوردار نبوده در حالیکه سامانه های FM و طیف گسترده می توانند از بهره پردازشی نسبتاً بالایی برخوردار باشند. این بهره پردازشی در میزان مقاومت سامانه های ارتباطی در برابر جمر بسیار موثر خواهد بود.

در ادامه و در شکل (۴)، مدل چینش فرستنده-گیرنده مخابراتی و جمر مخابراتی نسبت به یکدیگر و پارامترهای موثر هر یک از آنها، نشان داده شده است.



شکل ۴- چینش فرستنده-گیرنده مخابراتی و جمر مخابراتی نسبت به یکدیگر و پارامترهای موثر آنها.

در این مقاله، عملکرد سامانه های مختلف مخابراتی در

است. بنابراین، در مدل کانال two-ray سیگنال به نویز دریافتی، با کمی جابجایی فواصل میان فرستنده، گیرنده و جمر به شدت تغییر خواهد نمود.

- رابطه سیگنال به نویز با توان دوم ارتفاع آنتن‌های فرستنده و جمر در مدل کانال two-ray، در حالیکه ارتفاع آنتن‌ها تاثیری بر سیگنال به نویز دریافتی در مدل کانال دیدمستقیم ندارند.
- همچنین ارتفاع آنتن گیرنده، تاثیری بر میزان سیگنال به نویز دریافتی در مدل کانال two-ray ندارد. البته باید اشاره داشت که عدم وابستگی به بهره آنتن گیرنده، زمانی صحیح است که یا آنتن گیرنده از نوع همه‌جهته باشد و یا جمر نیز در بیم اصلی آنتن گیرنده قرار گیرد که در اینجا فرض بر این بوده که آنتن گیرنده مخابراتی به صورت همه‌جهته در سمت است.

با توجه به مطالب فوق، یکی از پارامترهای اساسی تاثیرگذار سامانه‌های ارتباطی در میزان سیگنال به نویز دریافتی تحت هر دو مدل کانال، بهره پردازشی آنها است. در سامانه مخابراتی آنالوگ AM متداول، پهنای باند سیگنال ارسالی دو برابر پهنای باند پیام بوده و سیگنال به نویز خروجی آشکارساز $(\frac{S}{N})_{OutAM}$ ، به صورت زیر قابل بیان است [۱۹]:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{OutAM} = \frac{a^2 P_{m_n}}{1 + a^2 P_{m_n}} \left(\frac{S}{N}\right)_b \quad (12)$$

که در آن، a ضریب مدولاسیون، P_{m_n} توان پیام ارسالی نرمالیزه شده است و $\left(\frac{S}{N}\right)_b = \frac{P_r}{N_0 W}$ سیگنال به نویز دریافتی برای یک سامانه مخابراتی باندپایه است که P_r توان سیگنال دریافتی، N_0 چگالی طیف توان نویز و W پهنای باند سیگنال پیام است. با توجه به رابطه فوق، میزان بهره پردازشی قابل حصول توسط سامانه AM متداول، به صورت رابطه زیر قابل بیان است:

$$\begin{aligned} \left(\frac{S}{N}\right)_{OutAM} &= \frac{2a^2 P_{m_n} P_r}{1 + a^2 P_{m_n} 2N_0 W} \quad (13) \\ &= \frac{2a^2 P_{m_n}}{1 + a^2 P_{m_n}} \left(\frac{S}{N}\right)_{InAM} \end{aligned}$$

که در آن h_t و h_r به ترتیب ارتفاع آنتن‌های فرستنده و گیرنده بوده و سایر پارامترها، به مانند پارامترهای تعریف شده در مدل LOS است.

عموماً توان نویز در گیرنده (P_N) ، که وابسته به پهنای باند معادل نویز سامانه مخابراتی است، در برابر توان سیگنال جمر قابل صرفه نظر کردن است. بنابراین، با صرفه نظر نمودن از توان نویز (زمانی که پهنای باند معادل نویز وسیع نباشد)، می‌توان SINR سیگنال دریافتی خروجی آشکارساز را، به ازای دو مدل کانال two-ray و LoS، با دقت بسیار بالایی، با استفاده از روابط زیر تقریب زد.

$$\begin{aligned} SINR_{LoS} &= \frac{P_t * G_t * G_r * \lambda^2}{(4\pi d)^2 * L} \quad (10) \\ &= \frac{ERP_j * G_r * \lambda^2}{(4\pi d_j)^2 * L * G_p} \\ &= \frac{P_t * G_t * G_p * d_j^2}{ERP_j * d^2} \end{aligned}$$

SINR تحت مدل کانال two-ray:

$$\begin{aligned} SINR_{2-ray} &= \frac{P_t * G_t * G_r * (h_t h_r)^2}{d^4 * L} \quad (11) \\ &= \frac{ERP_j * G_r * (h_j h_r)^2}{d_j^4 * L * G_p} \\ &= \frac{P_t * G_t * G_p * d_j^4 * h_t^2}{ERP_j * d^4 * h_j^2} \end{aligned}$$

از جمله نکاتی که می‌توان از روابط (۱۰) و (۱۱) استخراج نمود به صورت زیر است:

- عدم تاثیرگذاری بهره آنتن گیرنده در میزان سیگنال به نویز دریافتی در گیرنده در حضور جمر تحت هر دو مدل کانال.
- رابطه مستقیم میزان سیگنال به نویز دریافتی با بهره پردازشی در هر دو مدل کانال. به عبارت دیگر، بهره‌ی پردازشی، بیانگر میزان مقاومت تکنیک‌های مخابراتی در برابر نویز و اثرگذاری آنها در کاهش اثر نویز است.
- تاثیر توان چهارم فاصله بر سیگنال به نویز در مدل کانال two-ray، در حالیکه در مدل دید مستقیم، سیگنال به نویز دریافتی با توان دوم فاصله در رابطه

کلاس‌های مختلف مخابراتی، بر اساس میزان سیگنال به نویز دریافتی در خروجی آشکارساز سامانه‌های گوناگون ارتباطی و بر حسب دو مدل کانال LoS و کانال two-ray بیان می‌شود.

۴- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش، به ارزیابی میزان سیگنال به نویز دریافتی در خروجی آشکارساز گیرنده بر حسب توان‌های مختلف ارسالی و نسبت فاصله جمر از گیرنده، و فرستنده از گیرنده پرداخته شده است. پارامترها و فرض‌های به کار گرفته شده در این مقاله، در جدول ۱ آورده شده است.

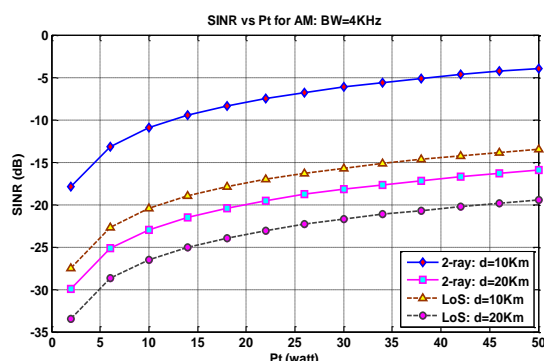
۴-۱- میزان سیگنال به نویز دریافتی در سامانه‌های

مختلف مخابراتی بر حسب توان ارسالی فرستنده

در این بخش، به ازای دو فاصله ۱۰ و ۲۰ کیلومتری بین فرستنده و گیرنده و تحت دو مدل کانال LoS و two-ray، به محاسبه سیگنال به نویز دریافتی در خروجی آشکارساز گیرنده، بر حسب توان ارسالی فرستنده، پرداخته شده است. در این بخش سایر پارامترها ثابت فرض گردیده است.

- میزان SINR دریافتی در آشکارساز گیرنده AM

در شکل (۵)، مقدار SINR در سر آشکارساز گیرنده سامانه مخابراتی آنالوگ AM متداول، بر حسب توان فرستنده، به ازای پهنای باند ۴ کیلوهرتز، ارتفاع آنتن‌های فرستنده و گیرنده ۱۵ متر، ارتفاع آنتن جمر ۱۵ متر، فرکانس حامل ۱ گیگاهرتز و ERP_j برابر ۱۰ کیلووات نشان داده شده است. سامانه‌های مخابراتی AM متداول، از بهره پردازشی کمتر از یک برخوردار بوده که در اینجا، یک ($G_p = 1$) در نظر گرفته شده است.



شکل ۵- نمودار SINR در خروجی آشکارساز گیرنده مخابراتی

AM، بر حسب توان ارسالی فرستنده به ازای $ERP_j = 10Kwatt$ ، $h_r = 15m$ ، $h_t = 15m$ ، $h_j = 15m$ ، پهنای باند ۴ کیلوهرتز و فرکانس حامل ۱ گیگاهرتز.

که در آن، $\left(\frac{S}{N}\right)_{In_{AM}}$ سیگنال به نویز ورودی گیرنده بوده و بهره G_p برابر با $\frac{2a^2 P_{m_n}}{1+a^2 P_{m_n}}$ خواهد بود. در مدولاسیون AM، $a < 1$ و $P_{m_n} < 1$ بوده و مقدار شاخص مدولاسیون a ، به صورت متداول کوچکتر از ۰.۵ است. بنابراین، با فرض $a = 0.5$ و $P_{m_n} = 1$ بهره پردازشی آن کوچکتر از یک و تقریباً برابر با ۰.۵ خواهد بود.

در سامانه مخابراتی FM، که می‌توان آن را یک سامانه طیف گسترده نیز اتلاق نمود، پهنای باند سیگنال ارسالی FM به صورت $BW_{FM} = 2(\beta + 1)W$ است. عموماً β ، که به آن شاخص مدولاسیون گفته می‌شود، مقداری بزرگتر از ۵ است. در اینجا نیز، مقدار سیگنال به نویز خروجی آشکارساز $\left(\frac{S}{N}\right)_{Out_{FM}}$ ، به صورت زیر قابل بیان است [۱۹]:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{Out_{FM}} = 3P_R \left(\frac{\beta}{\max(|m(t)|)}\right)^2 \frac{P_M}{N_0 W} \quad (14)$$

که $m(t)$ پیام ارسالی، P_M توان پیام ارسالی و بقیه پارامترها به مانند رابطه‌ی (۱۰) است. در ادامه، با فرض $\max(|m(t)|) = 1$ داریم:

$$\begin{aligned} \left(\frac{S}{N}\right)_{Out_{FM}} &= 3P_M \beta^2 \frac{P_r}{N_0 W} \\ &= 6P_M \beta^2 (\beta + 1) \frac{P_r}{2N_0 (\beta + 1)W} \\ &= 6P_M \beta^2 (\beta + 1) \left(\frac{S}{N}\right)_{In_{FM}} \end{aligned} \quad (15)$$

که در آن، $\left(\frac{S}{N}\right)_{In_{FM}}$ سیگنال به نویز ورودی گیرنده است. بنابراین، سامانه مخابراتی FM، از $G_p = 6P_M \beta^2 (\beta + 1)$ برخوردار است.

در سامانه‌های مخابراتی دیجیتال معمولی، عموماً پهنای باند سیگنال ارسالی برابر با پهنای باند سمبل پیام است و از بهره پردازشی برابر با یک برخوردار است. اما، در سامانه‌های طیف گسترده، میزان بهره پردازشی، برابر با نسبت پهنای باند سیگنال ارسالی به پهنای باند پیام هستند یعنی $G_p = \frac{BW_{SS}}{W}$ ، که در آن BW_{SS} ، پهنای باند سامانه طیف گسترده است.

در ادامه، نتایج ارزیابی عملکرد جمر نویزی بر روی

حالیکه در مدل LoS در حدود ۶dB موجب کاهش SINR سیگنال دریافتی می‌گردد. در بررسی صورت گرفته، میزان ERP جمر نیز، به شدت تاثیرگذار است. به عنوان مثال، با به‌کارگیری جمری با 20 ERP کیلوواتی، که توان بسیار بالایی است، مقدار SINR در هر دو مدل کانال LoS و two-ray، به اندازه ۳dB بیشتر کاهش خواهد یافت. همچنین به ازای جمری با 1 ERP کیلووات، که دست‌یابی به آن راحت است، سیگنال به نوبت دریافتی در گیرنده، در حدود ۱۰dB افزایش خواهد یافت.

میزان SINR دریافتی در آشکارساز گیرنده FM نتایج حاصل از بکارگیری جمر بر عملکرد سامانه مخابراتی آنالوگ FM در شکل (۶) نشان داده شده است.

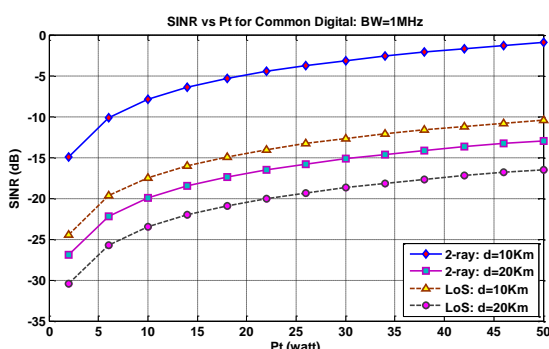
نتایج نشان می‌دهد که جمری با ۱۰ ERP کیلووات، در هر دو مدل کانال LoS و two-ray و در بدترین وضعیت ممکن برای جمر (یعنی فاصله جمر ۳۰ کیلومتری از گیرنده مخابراتی، فاصله فرستنده-گیرنده مخابراتی ۱۰ کیلومتری و توان حداکثری فرستنده مخابراتی برابر با ۵۰ وات)، به خوبی گیرنده مخابراتی را مورد جمینگ قرار داده و SINR دریافتی در آشکارساز گیرنده را به 1dB- در مدل کانال two-ray و 10.5dB- در مدل کانال LoS تنزل می‌بخشد. از نکات دیگر نتایج نشان داده شده در شکل (۶)، تفاوت میزان SINR به ازای تغییر فاصله فرستنده-گیرنده مخابراتی از ۱۰ به ۲۰ کیلومتر است. در مدل two-ray تقریباً 12dB میزان SINR دریافتی کاهش می‌یابد، در

جدول ۱- پارامترها و پیش‌فرض‌های ارزیابی صورت گرفته.

توضیحات	مقدار	پارامتر
	۲ تا ۵۰ وات	توان فرستنده مخابراتی (P_t)
عموماً سامانه‌های مخابراتی از آنتن‌های همه‌جهته در فرستنده و گیرنده بهره می‌برند.	3 dBi	بهره آنتن فرستنده (G_t)
عموماً سامانه‌های مخابراتی از آنتن‌های همه‌جهته در فرستنده و گیرنده بهره می‌برند.	3 dBi	بهره آنتن گیرنده (G_r)
حداکثر فاصله دید مستقیم قابل دسترسی متناسب با ارتفاع آنتن‌های فرستنده-گیرنده در حدود ۳۰ کیلومتر است.	۱۰ و ۲۰ کیلومتر	فاصله فرستنده-گیرنده مخابراتی (d)
توان بالایی است که با استفاده از یک تقویت کننده توان با توان خروجی ۱ کیلووات و آنتنی با بهره ۱۰ قابل حصول است.	۱۰ کیلووات	ERP جمر مخابراتی (ERP_j)
	۳۰ کیلومتر	فاصله جمر از گیرنده مخابراتی (d_j)
	5 dB	عدد نویز (NF)
	2 dB	تلفات اتصالات RF گیرنده مخابراتی (L)
متناسب با کلاس سامانه مخابراتی است.	۴KHz تا ۲۵MHz	پهنای باند معادل نویز گیرنده (BW_n)
	۱۵ متر	ارتفاع آنتن فرستنده مخابراتی (h_t)
	۱۵ متر	ارتفاع آنتن گیرنده مخابراتی (h_r)
	۱۵ متر	ارتفاع آنتن فرستنده جمر (h_j)
	$1,38 \times 10^{-23}$	ثابت بولتزمن (K)
	۳۰۰ درجه کلوین	دمای معادل نویز (T)
	باند UHF (۰,۳ تا ۳ گیگاهرتز)	فرکانس حامل (f_c)
متناسب با کلاس سامانه‌های مخابراتی است.	AM: متناسب با رابطه (۱۳)، تقریباً برابر با ۰,۵ است. FM: متناسب با رابطه (۱۵) است. دیجیتال معمولی: برابر با یک است. دیجیتال طیف گسترده: متناسب با $\frac{BW_{SS}}{W}$ است.	بهره پردازش (G_p)

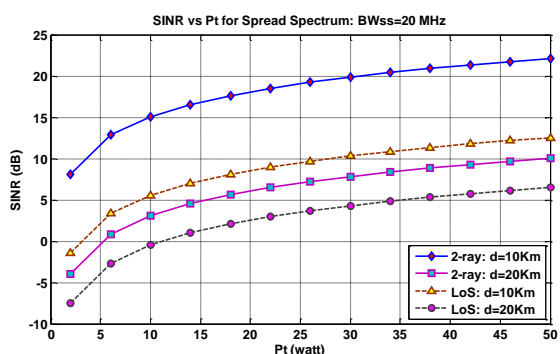
- میزان SINR دریافتی در آشکارساز گیرنده دیجیتال معمولی

در شکل (۷)، نتایج بدست آمده بر روی سامانه مخابراتی دیجیتال متداول و به ازای پهنای باند در حدود ۱ مگاهرتز نشان داده شده است. در سامانه مخابراتی دیجیتال معمولی، بهره پردازشی وجود نداشته و مقدار آن در روابط (۸) و (۹) برابر با یک در نظر گرفته شده است.



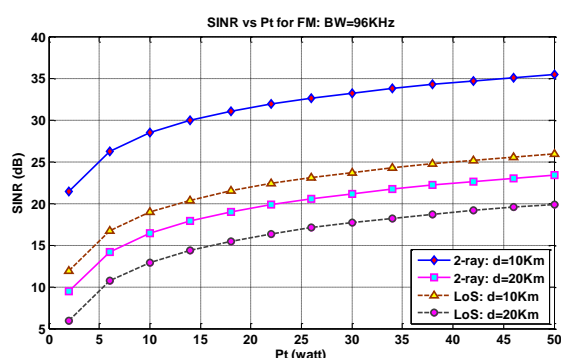
شکل ۷- نمودار SINR در خروجی آشکارساز گیرنده مخابراتی دیجیتال متداول، بر حسب توان ارسالی فرستنده به ازای $h_r = h_t = 15m, h_j = 15m, ERP_j = 10Kwatt$ ، پهنای باند ۱ مگاهرتز و فرکانس حامل ۱ گیگاهرتز.

نتایج بدست آمده برای سامانه مخابراتی دیجیتال متداول، به میزان بسیار زیادی شبیه به سامانه مخابراتی AM بوده و در هر دو مدل کانال، جمر به خوبی قادر به جمینگ سامانه مخابراتی است. این تشابه، به دلیل قابل صرفه نظر بودن توان نویز در برابر جمر و بهره پردازشی تقریباً نزدیک آنها است.



شکل ۸- نمودار SINR در خروجی آشکارساز گیرنده مخابراتی دیجیتال طیف گسترده، بر حسب توان ارسالی فرستنده به ازای $h_r = h_t = 15m, h_j = 15m, ERP_j = 10Kwatt$ ، پهنای باند طیف گسترده ۲۰ مگاهرتز، پهنای باند سیگنال پیام ۱۰۰ کیلوهرتز و فرکانس حامل ۱ گیگاهرتز.

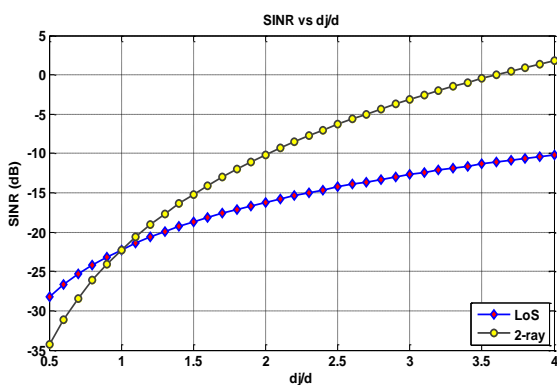
عموماً از سامانه مخابراتی FM به عنوان یک سامانه مخابراتی شبه طیف گسترده یاد می‌گردد و متناسب با شاخص مدولاسیون FM (β) موجب گسترش طیف سیگنال پیام می‌گردد. بهره پردازشی قابل دستیابی توسط سامانه FM، در رابطه (۱۳) بیان شده است که با فرض P_M برابر با ۰.۵ و β برابر با ۱۱، مقدار بهره پردازشی برابر با ۴۳۵۶ خواهد بود. همچنین، به ازای $\beta = 11$ ، پهنای باند سامانه FM در حدود ۹۶ کیلوهرتز است. سایر پارامترها، بر اساس جدول (۱) است. در اینجا نیز، ارزیابی ها به ازای دو فاصله ۱۰ و ۲۰ کیلومتری فرستنده-گیرنده و تحت دو مدل کانال LoS و two-ray صورت گرفته است.



شکل ۹- نمودار SINR در خروجی آشکارساز گیرنده مخابراتی FM بر حسب توان ارسالی فرستنده به ازای $ERP_j = 10Kwatt$ ، پهنای باند ۱۰۰ کیلوهرتز و فرکانس حامل ۱ گیگاهرتز.

با توجه به بهره پردازشی بسیار بالای سامانه مخابراتی FM، جمر مخابراتی، به راحتی قادر به جمینگ این نوع از سامانه های ارتباطی نیست. در این شرایط، تنها با نزدیک شدن جمر به گیرنده مخابراتی و افزایش توان جمر، می‌توان به جمینگ سامانه های مخابراتی پرداخت که نزدیکی سامانه جمر به گیرنده دشمن، منطقی و عملیاتی نبوده و از طرفی افزایش توان جمر نیز، محدودیت هایی از نظر تکنولوژی، حجم و وزن ایجاد خواهد نمود. ERP جمر برابر با ۱۰ کیلووات نیز، توان بالایی برای جمرهای نویزی است. البته باید اشاره داشت که رابطه (۱۳)، زمانی برقرار است که مقدار شاخص مدولاسیون (β) چندان زیاد نباشد؛ چراکه این رابطه به ازای پهنای باندهای نه چندان وسیع و به ازای برقراری شرط $\left(\frac{S}{N}\right)_{InFM} \gg 1$ برقرار است و پهنای باند رابطه مستقیمی با شاخص مدولاسیون دارد.

۴-۲- سیگنال به نویز دریافتی بر حسب نسبت فاصله جمر از گیرنده به فاصله فرستنده-گیرنده ($\frac{d_j}{d}$) در تمامی نتایج بالا، SINR سیگنال دریافتی تحت مدل کانال two-ray متناسب با تغییرات فاصله بین فرستنده-گیرنده، از تغییرات بیشتری نسبت به مدل کانال LoS برخوردار است. به عنوان مثال، با دو برابر شدن فاصله میان فرستنده-گیرنده و با فرض ثابت بودن فاصله جمر از گیرنده مخابراتی میزان کاهش SINR در گیرنده تحت مدل two-ray ۶dB بیشتر از مدل LoS است. در این بخش، میزان SINR دریافتی در خروجی آشکارساز، بر حسب تغییرات $\frac{d}{d_j}$ و تحت دو مدل کانال LoS و two-ray بیان خواهد شد. در این بررسی، میزان توان ارسالی فرستنده مخابراتی برابر با ۳۰ وات و نوع سامانه ارتباطی، از نوع دیجیتال معمولی در نظر گرفته شده است. سایر پارامترها، متناسب با جدول (۱) تنظیم شده‌اند. در این بررسی، از روابط تقریبی (۱۰) و (۱۱) بهره گرفته شده است که در آن SINR دریافتی تحت مدل کانال LoS، متناسب با توان دوم نسبت فاصله‌ها است، در حالیکه، تحت مدل کانال two-ray، متناسب با توان چهارم نسبت فاصله‌ها است. نتایج به دست آمده در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۹- نمودار SINR در خروجی آشکارساز گیرنده مخابراتی دیجیتال معمولی، تحت دو مدل کانال LoS و two-ray، بر حسب $\frac{d_j}{d}$ و به ازای $ERP_j = 10 \text{ Kwatt}$ و ارتفاع آنتن جمر و فرستنده برابر $(h_t = h_j)$.

از نتایجی که از رابطه (۱۱) قابل استخراج است، عدم وابستگی میزان SINR دریافتی به ارتفاع آنتن فرستنده است. در شکل (۹)، نتایج به ازای ارتفاع آنتن‌های برابر جمر و گیرنده مخابراتی رسم شده است. نتایج نشان می‌دهد، در صورتیکه، جمر در فاصله کمتری از گیرنده مخابراتی نسبت به فاصله فرستنده مخابراتی از گیرنده قرار گیرد، سیگنال

در شکل (۸)، نتایج حاصل از بکارگیری جمر بر روی سامانه‌های مخابراتی طیف گسترده نشان داده شده است. در بررسی صورت گرفته، پهنای باند سامانه طیف گسترده ۲۰ مگاهرتز و پهنای باند مورد نیاز سیگنال پیام ۱۰۰ کیلوهرتز مفروض است. بنابراین، سامانه طیف گسترده تحت بررسی از بهره پردازشی برابر با ۲۰۰ برخوردار است. سایر پارامترها نیز، مانند بررسی‌های پیشین است.

نتایج، نشان می‌دهد که جمری با ERP ۱۰ کیلووات، به ازای فاصله فرستنده-گیرنده ۲۰ کیلومتر و به ازای توان فرستنده مخابراتی کمتر از ۱۰ وات، توانایی مختل نمودن ارتباط سامانه مخابراتی طیف گسترده را دارا است و با افزایش توان فرستنده و یا نزدیکتر شدن فرستنده-گیرنده مخابراتی به یکدیگر، نیاز به جمری با توان بالاتر است. با افزایش ERP جمر به ۲۰ کیلووات نیز، تنها به اندازه ۳ میزان SINR در گیرنده بیشتر کاهش می‌یابد. بنابراین، در صورت نیاز به جمینگ سامانه مخابراتی طیف گسترده، نیاز به جمری با ERP بسیار بالاتر از ۱۰ کیلووات است. به عنوان مثال، در بررسی صورت گرفته، به ازای جمری با ERP ۱۰۰ کیلووات (که توان بسیار بالایی بوده و از نظر پیاده‌سازی، بسیار سخت قابل حصول است)، میزان SINR در گیرنده به اندازه ۱۰ dB بیشتر کاهش یافته و می‌تواند سامانه طیف گسترده را در صورتی که مدل LoS برقرار باشد به خوبی مورد جمینگ قرار دهد. در حالیکه جمر با ERP ۱۰۰ کیلووات و تحت مدل two-ray، تنها به ازای فاصله فرستنده-گیرنده در حدود ۲۰ کیلومتر به خوبی عمل خواهد نمود و به ازای فواصل نزدیکتر میان فرستنده-گیرنده مخابراتی، از تاثیرگذاریکمی برخوردار بوده و نمی‌تواند لینک ارتباطی را به خوبی مختل سازد، که این نکته از تفاوت‌های بارز عملکرد سامانه‌های مخابراتی تحت دو مدل کانال LoS و two-ray است. علاوه بر این، میزان بهره پردازشی سامانه‌های طیف گسترده، از مقادیر بالاتری برخوردار هستند.

به عنوان مثال، به ازای پهنای باند پیام در حدود ۱۰ کیلوهرتز و پهنای باند سامانه طیف گسترده ۲۰ مگاهرتز، بهره پردازشی برابر با ۲۰۰۰ قابل حصول است که میزان SINR دریافتی در شکل (۹) را به اندازه‌ی 10dB بهبود می‌بخشد. بنابراین، سامانه‌های طیف گسترده، از مقاومت بالایی در برابر جمرهای نویزی برخوردار هستند که قابل پیش‌بینی نیز بوده است.

بر میزان توان ارسال مورد نیاز فرستنده (جهت برقراری ارتباط پایدار) و همچنین میزان توان جمر ارسال (جهت اختلال مناسب سامانه ارتباطی) دارا است. همچنین، ذکر این نکته الزامی است که کلیه نتایج به دست آمده در شکل‌های (۹) و (۱۰)، برای تمامی کلاس‌های مخابراتی صادق بوده و در تمامی آنها، چنین رفتاری قابل انتظار است.

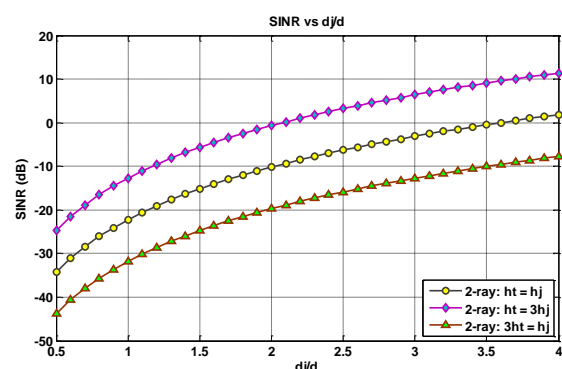
۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، جمر مخابراتی، تحت دو مدل کانال دیدمستقیم و کانال دومسیره two-ray مدل‌سازی شده و عملکرد آن بر سامانه‌های مخابراتی آنالوگ AM، FM، دیجیتال معمولی و دیجیتال طیف گسترده ارزیابی شده است. همچنین، رابطه‌ای جهت محاسبه‌ی میزان SINR دریافتی در خروجی آشکارساز گیرنده، معرفی شده است. در این مقاله، پارامترهای مدل کانال two-ray و تاثیر آن در ارزیابی عملکرد جمر مخابراتی مدل‌سازی شده و نتایج آن بیان شده است. از جمله نتایج بدست آمده، وابستگی توان سیگنال دریافتی به توان چهارم نسبت فاصله جمر از گیرنده مخابراتی و فاصله‌ی میان فرستنده-گیرنده مخابراتی، تحت مدل کانال two-ray است. همچنین، میزان SINR دریافتی تحت مدل کانال two-ray، متناسب با توان دوم نسبت ارتفاع آنتن فرستنده‌ی مخابراتی به ارتفاع آنتن جمر است.

همچنین، میزان مقاومت کلاس‌های مختلف مخابراتی، بررسی گردیده و به صورت ضریب بهره پردازشی، در رابطه‌ی محاسبه‌ی SINR مورد استفاده قرار گرفته است. دو تکنیک FM و طیف گسترده از بهره پردازشی بالایی برخوردار بوده و نتایج به دست آمده نیز، نشان‌دهنده‌ی کارایی مناسب سامانه‌های مخابراتی FM و طیف گسترده در برابر جمرهای نویزی است. همچنین، با توجه به تفاوت بارز عملکرد سامانه‌های مخابراتی و جمرهای نویزی، تحت دو مدل کانال دیدمستقیم و two-ray، آگاهی از مدل کانال می‌تواند در طراحی و تعیین پارامترها بسیار تاثیرگذار باشد. در آخر باید اشاره داشت که مدل‌سازی صورت گرفته درک بهتری از نحوه ارتباط و اختلال سامانه‌های ارتباطی فراهم نموده و می‌تواند به مدیریت ابزار ارتباطی در محیط‌های جنگ الکترونیک کمک نماید.

دریافتی در صورت برقراری مدل کانال LoS، از SINR بالاتری برخوردار است. اما به ازای فواصل بیشتر جمر، که از نظر عملیاتی و سناریوی درگیری منطقی‌تر است، SINR دریافتی به ازای برقراری مدل کانال two-ray خواهد بود. البته باید اشاره داشت، که نتایج فوق به ازای ارتفاع برابر آنتن‌های جمر و گیرنده است. در واقع به ازای فواصل یکسان فرستنده و جمر از گیرنده و به ازای ارتفاع یکسان آنتن‌های جمر و فرستنده، SINR دریافتی تحت هر دو مدل کانال با یکدیگر برابر خواهند بود.

در ادامه، در شکل (۱۰)، اثر ارتفاع آنتن‌های جمر و فرستنده بر میزان SINR دریافتی در گیرنده تحت مدل two-ray نشان داده است. در این بررسی، میزان SINR سیگنال خروجی آشکارساز بر حسب نسبت فاصله $(\frac{d_j}{d})$ و به ازای سه حالت، ۱- ارتفاع برابر آنتن‌های فرستنده و جمر، ۲- ارتفاع آنتن فرستنده ۳ برابر ارتفاع آنتن جمر، و ۳- ارتفاع آنتن جمر ۳ برابر ارتفاع آنتن فرستنده نشان داده شده است.



شکل ۱۰- نمودار SINR در خروجی آشکارساز گیرنده مخابراتی دیجیتال معمولی تحت مدل کانال two-ray، بر حسب $\frac{d_j}{d}$ ، به ازای $ERP_j = 10Kwatt$ و ارتفاع آنتن جمر و فرستنده $h_t = h_j$ و $3h_t = h_j$ ، $h_t = 3h_j$

نتایج به دست آمده از شکل (۱۰) نشان می‌دهد که، افزایش ۳ برابری ارتفاع آنتن جمر نسبت به آنتن فرستنده، در حدود 10dB موجب کاهش SINR دریافتی نسبت به حالتی که ارتفاع آنتن‌ها یکسان است می‌گردد و در حالت برعکس، یعنی ارتفاع ۳ برابری آنتن فرستنده نسبت به آنتن جمر، حدود 10dB موجب بهبود SINR سیگنال دریافتی خواهد شد. بنابراین، ارتفاع آنتن تحت مدل کانال two-ray، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار بوده و تاثیر مستقیمی

مراجع

- [۱] مهدی بکرانی، "بهبود رفتار همگرایی الگوریتم وقفی تصویر افاین در مدل‌سازی سیستم‌های خطی تنک با سیگنال‌های ورودی همبسته"، مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۷، شماره ۵۸، پائیز ۱۳۹۸، صفحه ۱۷۱-۱۸۶. doi: 10.22075/jme.2019.16502.1646
- [۲] اسماعیل رنجبر کلیبی، محمد دانایی، مجتبی احمدیه خانه سر، "استخراج روابط میان پارامترهای مداری به کمک الگوریتم ژنتیک چند هدفه برای طراحی تقویت‌کننده‌های عملیاتی مجتمع با جبران‌سازی غیرخطی" مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۷، شماره ۵۸، پائیز ۱۳۹۸، صفحه ۱۲۷-۱۴۲ doi: 10.22075/jme.2019.13114.1287
- [3] K. Grover, A. Lim, and Q. Yang, "Jamming and anti-jamming techniques in wireless networks: a survey", *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, Vol. 17, No.4, pp. 197-215, 2014.
- [4] N. Dhandhukia, and K. Parmar, "Effects of jamming attacks on wireless communication systems", *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Vol. 3No.7, pp. 1-2, 2012.
- [5] M. Lichtman, and et al. "A communications jamming taxonomy", *IEEE Security and Privacy*, Vol. 14No.1, pp. 47-54, 2016.
- [6] S. Fang, Y. Liu, and P. Ning, "Wireless communications under broadband reactive jamming attacks", *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, Vol. 13No.3, pp. 394-408, 2016.
- [7] H. Huang, and et al. "Capacity of Large-Scale Wireless Networks Under Jamming: Modeling and Analyses", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2017.
- [8] S. Askari, and M. Kazerooni, "Time Frequency Analysis of two Dimensional Shift Frequency Jamming in Image of Synthetic Aperture Radar with Diving Platform Using Passive Defense", *Journal Of Electronical & Cyber Defence*, Vol. 4, No. 3, 2016.
- [9] A. Goldsmith, "Wireless communications", Cambridge university press, 2005.
- [10] M. Rao, and et al. "MGF approach to the analysis of generalized two-ray fading models", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 14 No.5, pp. 2548-2561, 2015.
- [11] M.J. Romero-Jerez, and et al. "The Fluctuating Two-Ray Fading Model: Statistical Characterization and Performance Analysis", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2017.
- [12] L.Y. Hui, F. Dong, and Y. Song Meng. "Near sea-surface mobile radiowave propagation at 5 GHz: measurements and modeling", *Radioengineering*, Vol. 23, No. 3, 2014.
- [13] A. Yunan, E. Satria, D. N. Ilham, F. Anugreni, K. Khairuman, and S. Sandra. "Signal jammer reduces wireless fidelity network and global system in local environment." In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 644, No. 1, p. 012022. IOP Publishing, 2021.
- [14] A. Kuhestani, A. Mohammadi, and P.L. Yeoh. "Optimal power allocation and secrecy sum rate in two-way untrusted relaying networks with an external jammer." *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 66, No. 6, pp. 2671-2684, 2018.
- [15] T. G. Kostis, "White noise jammer mathematical modelling and simulation." *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, 2020.
- [۱۶] عمت اله عزتی، حسن طاهری، "سنجش طیف توزیع شده با تهیه نقشه‌های جغرافیایی رادیویی در شبکه‌های رادیو شناختی" مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۷، شماره ۵۶، بهار ۱۳۹۸، صفحه ۲۲۳-۲۳۳. doi: 10.22075/jme.2018.13317.1306
- [17] M. Weik, "Communications standard dictionary", Springer Science & Business Media, 2012.
- [18] W.L. Weeks, "Antenna engineering", McGraw-Hill, 1968.
- [19] J. G. Proakis, M. Salehi, N. Zhou, and X. Li. "Communication systems engineering", Vol. 2, New Jersey: Prentice Hall, 1994.