بهینه سازی عملکرد شکل دهنده پرتو هماهنگ در حافظه فرکانسی رادیویی دیجیتال به منظور استفاده در اخلالگرهای راداری

خداداد هلیلی* [۱]، حسن محمدی[۲]
۱. استادیار ، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم وفنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران.

تاریخ دریافت:
۱۹ شهریورماه ۱۴۰۱
تاریخ پذیرش:
۲۶ دیماه ۱۴۰۱

چکیده

امروزه برتری در حوزه جنگ الکترونیک، مستلزم استفاده از تکنیک ها و ابزارهای مناسب در زمان مناسب است. یکی از اختراعات مهم در اقدامات ضد الکترونیکی، حافظه فرکانسی رادیویی دیجیتال (DRFM) است که نقش مهمی در سامانه های ضد الکترونیک دارد. این ابزار، یک سامانه ذخیره سازی سیگنال های مخابراتی است که میزان اثر بخشی سامانه اختلال در برابر شکل موج های پیچیده را تا چند دسی بل افزایش می دهد. تجزیه و تحلیل این سیگنال ها در DRFM به کمک ابزارهای پردازش سیگنال صورت می گیرد. در این مقاله با بکارگیری روش همسونهی تداخل پیشنهادی بهینه شده مبتنی بر تعریف تابع هدف، عملکرد شکل دهنده پرتو هماهنگ بهینه سازی شده است. شکل دهنده پرتو هماهنگ پیشنهادی مورد استفاده، نتیجه عملکرد اقدامات اختلالی در جنگ الکترونیک را بهبود خواهد بخشید. در روش پیشنهادی با ارائه یک تابع هدف، مجموع نرخ اختلال بیشینه می شود. بدین منظور، معیارهای نرخ خطای بیت و تداخل ایجاد شده ارزیابی شده است. نتایج ارزیابی نشان از کاهش نرخ خطای بیت تا ۶ درصد و تداخل تا ۵ درصد نسبت به شکل دهنده پرتو هماهنگ با افزایش تعداد اهداف دارد.

واژه‌های کلیدی: جنگ الکترونیک، حافظه فرکانسی رادیویی دیجیتال، اخلالگر راداری، شکل دهنده پرتو هماهنگ

Optimization of coordinated beam forming in digital radio frequency memory (DRFM) for use in radar jammer

Abstract

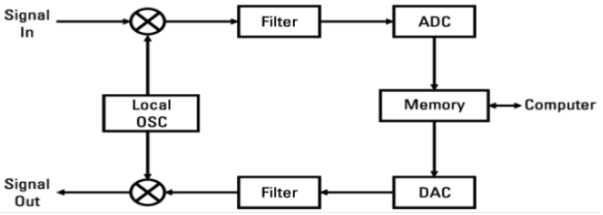
Nowadays, superiority in the field of electronic warfare requires the use of the appropriate techniques and tools at the right time. One of the important inventions in counter-electronic measures is digital radio frequency memory (DRFM), which plays an important role in counter-electronic systems. This tool is a telecommunication signal storage system that increases the effectiveness of the interference system against complex waveforms by several decibels. The analysis of these signals in DRFM is done with the help of signal processing tools. In this research, the optimized proposed interference based on the definition of the objective function will improve the performance of the coordinated beam forming. Based on the proposed coordinated beam former, the result of the performance of the disruptive actions in electronic warfare will be done. In the proposed method, the proposed coordinated beams try to maximize the sum of the perturbation rates by presenting a target function. The proposed method is evaluated on the criteria of bit error rate and generated interference. The evaluation results show a reduction in bit error rate of up to 6% compared to the method and an interference of up to 5% compared to the beam generator in line with the increase in the number of targets.

Key words: Electronic warfare, digital radio frequency memory, digital signal processing, frequency domain, synchronous beam forming.

ایمیل نویسنده مسئول: Kh.halili@ssau.ac.ir

۱-مقدمه

حافظه فرکانس رادیویی دیجیتال(DRFM[1]) یکی از اختراعات مهم در سامانه پشتیبانی از اقدامات ضد الکترونیکی(ECM[2]) است. این ابزار، امکان تحلیل فوری شکل موج های دریافتی پیچیده و تولید شکل موج های اقدام متقابل را فراهم می سازد. همچنین، DRFM می تواند میزان اثر بخشی سامانه اختلال در برابر شکل موج های پیچیده را تا چنددسی بل افزایش دهد[۳-۱]. DRFM یک فرستنده و انتقال دهنده است که قادر به دیجیتالی کردن، ضبط به حافظه، اصلاح، و انتقال مجدد شکل موج ثبت شده می‌باشد. انجام این کار نیاز به انواع زیر سیستم های مختلف شامل: گیرنده، مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال (ADC)، پردازش سیگنال دیجیتال (DSP)، سیستم کنترل الکترونیکی (EA)، مبدل‌های دیجیتال به آنالوگ (DAC) و فرستنده ها است که در شکل ۱ آمده است. [۴]



شکل ۱- بلوک دیاگرام DRFM

گرچه اصول عملکرد DRFM بسیار ساده است، با این حال فناوری آن پیچیدگی زیادی دارد. محدودیت اصلی DRFM های معمولی و اولیه این است که این نوع از DRFMها بدلیل اینکه تنها یک سیگنال را بازتاب می دهند دقیق نیستند زیرا بازگشت سیگنال از اهدافی مانند هواپیما،کشتی و..مجموع تعداد زیادی از سیگنالها که معمولا با تاخیرهای متفاوت، فاز و شیفت داپلر متفاوت هستند.

DRFM از لحاظ فناوری پیچیده است، چون به پردازش دیجیتال با سرعت بالا نیاز دارد. با استفاده از پیشرفت حاصل از پردازش دیجیتال سرعت بالا، نسل حاضر DRFM امکان انجام تغییرات مورد نظر روی سیگنال را فراهم می‌کند، که با ابزارهای دیگر امکان پذیر نیست. یکی از ابزارهای جدید و پیشرفته که برای بهبود عملکرد DRFM مطرح شده است، استفاده از ابزارهای مبتنی بر پردازش سیگنال دیجیتال است [۳]. در این مقاله مسئله کاهش تداخل و بیشینه کردن مجموع گذردهی اهداف و افزایش اختلال در جنگ الکترونیک با استفاده از ساختار استفاده مجدد فرکانسی چند عاملی و روش شکل‌دهی پرتو هماهنگ در DRFM مورد توجه قرار گرفته است. شکل‌دهی پرتو در واقع یک روش انتقال سیگنال رادیویی می‌باشد. نقطه دسترسی که دارای این فناوری باشد انرژی سیگنال رادیویی را به سمت اهداف فعال در شبکه بی‌سیم، متمرکز و هدایت می‌کند.

1 Digital Radio Frequency Memory
2 Electronic Counter Measure

۲-مدل

در این مقاله، با استفاده از الگوریتم‌های شکل‌دهنده پرتو کاهش تداخل به منظور افزایش اختلال در سیستمهای جنگ الکترونیک مورد بررسی قرار گرفته است. هدف نهایی استفاده از شکل دهی پرتو هماهنگ، برطرف کردن چالش‌هایی ازجمله بهبود میزان نرخ خطای بیت(BER[3]) و افزایش اختلال در جنگ الکترونیک است. در الگوریتم‌های شکل‌دهی پرتوی هماهنگ، ابتدا یک تابع هدف از مسئله‌ی بهینه‌سازی بردار پرتوی هر کاربر را تعریف می شود و بر اساس الگوریتم آن، هر جفت کاربرها بردار پرتوی خودش را به‌صورت پی‌درپی به‌روزرسانی می‌کند، به‌گونه‌ای که درنهایت به یک مقداری همگرا شود.

۲-۱- همسونهی تداخل

همسونهی تداخل یک ایده بنیادی در شبکه‌های مخابراتی بی سیم است. همسونهی تداخل اخیرا در بحث تحلیل ظرفیت شبکه‌های دارای تداخل ظهور پیدا کرده‌است[۷-۵]. در یک زمان نسبتا کوتاه، این مبحث خیلی از دانش‌ها در مورد محدودیت‌های کارایی شبکه‌های سیمی و بی‌سیم را به چالش کشیده‌است. به عنوان یک مثال عملی، یک کانال تداخل بی‌سیم با K جفت فرستنده-گیرنده جایی که، بدلیل همسونهی تداخل، هر کاربر می‌تواند به طور همزمان به نصف ظرفیت کانال بدون تداخل دست یابد، حتی اگر تعداد اهداف K بطور دلخواه زیاد باشد. در نتیجه یک کانال مخابراتی بی سیم، وجود تداخل یک محدودیت آزاردهنده نیست و با استفاده از روش‌های مختلف می‌توان آن را به حداقل مقدار رساند. درحالی‌که مزیت‌های قابل توجه همسونهی تداخل نشان داده شده، اکثرا تحت فرضیات ایده آل گرایانه‌ای بوده‌اند، مانند: دانستن کانال سراسری، گسترش پهنای باند، تفکیک‌پذیری بی‌نهایت، قدرت سیگنال بالا و تأخیرهای قابل توجه، این ایده علاقمندان رو به رشدی در جوامع مخابرات، پردازش سیگنال، شبکه و تئوری اطلاعات را به سمت خود جلب کرد و یک دید بنیادی به تعداد ابعاد سیگنال‌دهی قابل دسترس در شبکه‌های مخابرات سیمی و بی‌سیم ایجاد کرد. [۸]

درحالی‌که طرح‌های زیادی برای همسونهی تداخل وجود دارد که شکل‌های پیچیده‌ای دارند، منشا این ایده در جبر خطی قرار دارد

$$\mathbf{W}_j^{\mathrm{H}}\mathbf{H}^{[jk]}\mathbf{V}_k = 0_{dj\times dk} \quad (۱)$$

$$rank\left(\mathbf{W}_j^{\mathrm{H}}\mathbf{H}^{[kk]}\mathbf{V}_k\right) = d_k \quad (۲)$$

در روابط بالا $\mathbf{H}^{[jk]}$ تبدیل خطی $N_k \times M_j$ که نشان‌دهنده‌ی کانال بین گیرنده‌ی j ام و فرستنده‌ی k ام، V_k پیش کدگذار ارسالی، W_k ماتریس دریافتی ترکیبی و $rank\ (V_k) = d_k$ است. زمانی که تعداد اهداف زیاد می‌شود، تحقق‌پذیری همسونهی تداخل خطی با

3 Bit Error Rate

ضرایب کانال دلخواه، یک مسئله NP-hard است. به منظور درک تحقق‌پذیری همسونهی تداخل خطی روی کانال های عمومی و بدون ساختار پژوهش‌های متعددی انجام شده‌است. نتایج تحقق‌پذیری برای کانال‌های عمومی همواره به شکل احتمال این مهم را تضمین می‌کند که مسئله همسونهی تحقق‌پذیر (تحقق‌ناپذیر) برای تقریباً همه کانال است، به شرط آنکه کانال‌ها توزیع پیوسته داشته باشند [۹]. در واقع وقتی در یک ماتریس با ابعاد بالا(Tensor) بخواهیم مجهولات را پیدا کنیم بایستی از rank استفاده کنیم و بایستی دنبال راهی بود تا rank ماتریس حداقل شود و این امر مستلزم هزینه پردازش بالاست پس ناگزیر سراغ راه حل دیگری می رویم.

۳- شکل دهنده پرتو هماهنگ

سیگنال دریافتی که d_k رشته اطلاعات در آن موجود است در سمت گیرنده k ام بصورت زیر دریافت می‌شود:

$$y_k(n) = W_k{}^H(n)H_{kk}(n)V_k(n)x_k(n) + \sum_{j=1,j\neq k}^{K} W_k{}^H(n)H_{kj}(n)V_j(n)x_k(n) + W_k{}^H(n)z_k(n) \quad (۳)$$

در رابطه بالا V_k ماتریس پیش کدگذار در سمت فرستنده و W_k فیلتر دریافتی حذف تداخل در سمت گیرنده است. H_{kj} ماتریس ضرایب کانال بین فرستنده j ام و گیرنده k ام است. x_k بردار اطلاعات ارسالی با ابعاد $d_k \times 1$ توسط فرستنده می‌باشد. بنابراین توان نسبی ضعیفترین رشته داده‌ی مطلوب، (که q_{avg} را مشخص می‌کند) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$q_{avg} \triangleq \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} q_k \; ; \quad q_k \triangleq \frac{\sigma_{d_k}^2[W_k^H H_{kk} V_k]}{\sum_{j=1}^{d_k}\sigma_j^2[W_k^H H_{kk} V_k]} \quad (۴)$$

که $\sigma_l[A]$، بزرگترین مقدار ویژه l ام A را نشان می‌دهد.

مقدار بزرگی از q_k نشانگر این است که تقریبا نرخ داده مشابه را می‌توان در همه‌ی رشته‌های داده‌ی d_k به دست آورد. وقتی که $q_k = 0$، یکی از ابعاد از دست رفته است که بخاطر فیلترینگ دریافتی می‌باشد و DOF به دست آمده توسط کاربر k ام به شدت کمتر از d_k خواهد بود[۱۰].

$V_i^{(j)}$، نمایانگر بردار شکل دهنده‌ی پرتو هماهنگ متناظر با رشته داده‌ی j ام کاربر i ام باشد، یعنی ستون j ام از ماتریس پیش کدگذار در سمت فرستنده است. سپس مجموعه‌ای از معادلات برای همسونهی p رشته داده‌ی هر کاربر که باید در زیرفضایی که توسط اهداف تداخل کننده دیگر قرار دارند تشکیل شود. که در این صورت $\mathbf{H}$ و $\mathbf{V}$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\hat{\mathbf{H}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{12} & 0 & 0 & H_{13} & -H_{14} & 0 & 0 \\ -H_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{23} & 0 & 0 & H_{24} & 0 \\ 0 & H_{31} & 0 & -H_{32} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{34} \\ 0 & 0 & H_{41} & 0 & H_{42} & 0 & -H_{43} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V} \triangleq [V_{11}; V_{13}; V_{15}; V_{21}; V_{23}; V_{25}; V_{31}; V_{33}; V_{35}; V_{41}; V_{43}; V_{45}] \quad (۶)$$

در ادامه یک طرح گزینش بردار شکل دهنده ی پرتو هماهنگ بهینه و یک طرح گزینش بردار شکل دهنده‌ی پرتو هماهنگ شبه بهینه با پیچیدگی بسیار کم ارائه خواهد شد.

۳-۱-طرح گزینش بردار شکل دهنده‌ی پرتو هماهنگ بهینه

بهینه‌ترین راه برای گزینش مجموعه بردارهای شکل دهنده‌ی پرتو هماهنگ، جستجو کردن و محاسبه نرخ و سپس انتخاب بهترین مجموعه (که در اینجا مجموعه‌ای است که بیشترین نرخ را بدست می‌دهد) است. در این روش باید نرخ تمامی ترکیب‌های بردارهای $\tilde{V}$ یا همان تمامی مجموعه‌های C_i ممکن محاسبه شود. محاسبه نرخ به معنی ساختن ماتریس پیش کدگذار فرستنده و فیلتر دریافتی در گیرنده برای تمامی اهداف است. همانطور که گفته شد تعداد مجموعه‌های موجود معیار خوبی برای میزان پیچیدگی است که در اینجا برابر $n(C_i) = \binom{L_v}{p}$ است که $\binom{n}{r}$ نشان‌دهنده جایگشت است و برابر است با $\frac{n!}{(n-r)!r!}$. این میزان در L_v های خیلی کوچک زیاد نمی‌شود اما در جایی که تعداد مجموعه‌ها زیاد است به شکل چشم‌گیری افزایش می‌یابد و دیگر از نظر میزان محاسبات مطلوب تلقی نمی‌شود. بنابراین، روش گزینش بردار شکل دهنده‌ی پرتو هماهنگ بهینه در جاهایی که تعداد اهداف و همچنین تعداد آنتن آنها کم باشد مناسب بنظر می‌رسد اما در جاهای شلوغ یا در سیستم‌هایی که کانال متغیر با زمان است و زمان محاسبات نقش اساسی دارد این روش کاربردی نبوده و باید به سراغ روش‌های شبه بهینه‌ای که از نظر سرعت انجام محاسبات کارایی بالاتری داشته باشند مانند روشی که در ادامه شرح خواهیم داد، بروند.

۳-۲-طرح گزینش بردار شکل دهنده ی پرتو هماهنگ شبه بهینه

همانطور که در بالا اشاره شد بدلیل محاسبات زیاد طرح بهینه خیلی کم کاربرد بوده و اکثر شبکه‌ها طرحی با سرعت بالا و محاسبات اندک و کارایی نزدیک به بهینه نیازمندند. در این طرح شبه بهینه، گزینش بردارهای شکل دهنده‌ی پرتو هماهنگ برای تشکیل C_i ها بر اساس بردارهای مجاور با گام‌هایی به اندازه‌ی μ است.

$$\mathbf{C_1} = \left\{ \tilde{V}^{(1)}, \tilde{V}^{(2)}, \dots, \tilde{V}^{(p)} \right\} \quad (۷)$$

$$\mathbf{C_2} = \left\{ \tilde{V}^{(\mu+1)}, \tilde{V}^{(\mu+2)}, \dots, \tilde{V}^{(u+p)} \right\} \quad (۸)$$

٤-شبیه سازی

در این مقاله هدف اصلی پیاده سازی اخلالگر فرکانسی در DRFM است. از این رو روش شکل دهنده‌ی پرتو هماهنگ مبتنی بر گزینش بردار شکل دهنده ی پرتو هماهنگ بهینه ارائه شده است. به این منظور یک DRFM برای شبیه سازی در نظر گرفته شده و با استفاده از نرم افزار متلب شبیه سازی و پردازشهای لازم روی DRFM انجام شده است. در تمام شبیه سازی‌ها تعداد اهداف ۱۰۰ عدد در نظر گرفته شده است. تمامی دستگاه های اهداف عملکرد خارج دارند و محیط شبیه سازی یک محیط متداول است. دستگاه هر کاربر دارای تولید ترافیک مربوط به خود است و در تولید انواع ترافیک توانا است. در تمامی آزمایش‌های انجام شده تعداد سطوح توان در نظر گرفته شده یعنی $J = 10$ است و در حالی که بیشترین سطح توان مجاز P_{max} ، $P_{max} = 23dB_m$ است. همچنین پارامترهای اصلی شبیه سازی در جدول‌های زیر نشان داده شده است.

جدول ۱- باندهای فرکانسی اخلالگر

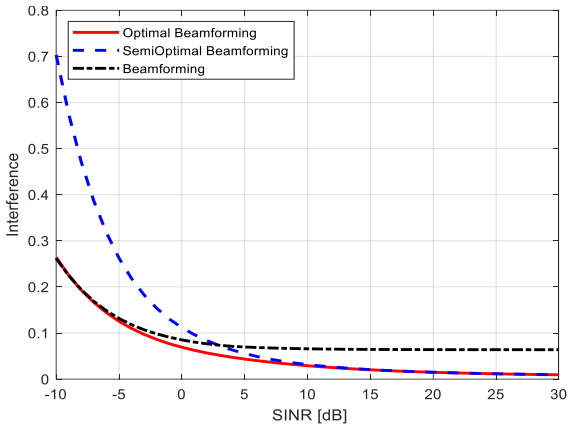
BS	پهنای باند $\lvert K_n^c \cup K_n \rvert$	کانال های $k \in K_n$ C_k
BS_1	$25RB_s(5\ MHz)$	$K_1 = \{1, \dots, 10\}$
BS_2	$50RB_s(10\ MHz)$	$K_2 = \{1, \dots, 10, 26, \dots, 40\}$
BS_3	$25RB_s(5\ MHz)$	$K_3 = \{26, \dots, 40\}$

جدول ۲-پارامترهای شبیه سازی

پارامتر	مقدار
ساختار فریم	TDD
شیارهای زمانی T_s	1 msec
توان ارسالی هر eNodeB	46dBm
بیشترین توان ارسالی	23 dBm
توان نویز	-174 dBm
تلفات مسیر لینک	$128.1 + 37.6\log(d)$, d[33]
تلفات مسیر غیرمستقیم (NLOS)	$40\log(d) + 30\log(f) + 49$ d[33], f[Hz]
تلفات مسیر مستقیم(LOS)	$16.9\log(d) + 20\log(f/5) +$ d[33], f[GHz]46.8

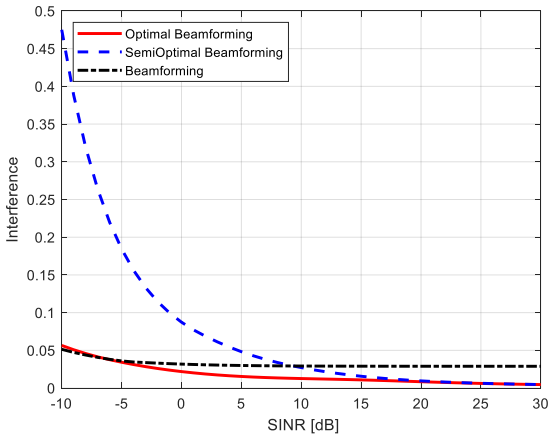
٤-۱-مقایسه میزان تداخل

ارزیابی انجام شده بر اساس تغییر مقدار SINR صورت گرفته است. به بیان دیگر برای ارزیابی‌ها، مقدار SINR در شبکه مورد نظر افزایش داده شده است، سپس بر اساس نوع بهبود پیشنهادی در شکل دهنده‌ی پرتو هماهنگ مقدار گذردهی محاسبه شده است. افزایش SINR به مفهوم افزایش توان ارسالی کاربر در ارسال داده در روش پیشنهادی است. آنچه انتظار می‌رود این است که با افزایش SINR در یک DRFM مقدار گذردهی افزایش پیدا کند. به بیان دیگر میزان تداخل با افزایش توان بهبود پیدا کند. سه طرح شکل دهنده‌ی پرتو هماهنگ، شکل دهنده‌ی پرتو هماهنگ بهینه و شبه بهینه با یکدیگر با افزایش تعداد اهداف در DRFM مورد بحث با یکدیگر مقایسه خواهند شد. شکل ۲ نشان دهنده میزان گذردهی با ۴ هدف را نشان می‌دهد. همانگونه که انتظار می‌رفت این گذردهی بهبود پیدا کرده است. در روش بهینه و شبه بهینه پیشنهادی با افزایش مقدار SINR تداخل کاهش یافته است، به بیان دیگر میزان گذردهی افزایش یافته است.

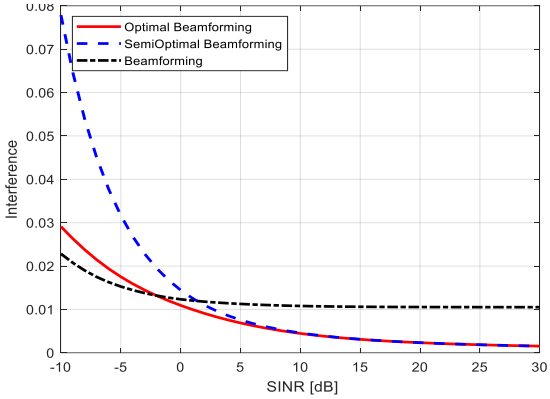


شکل ۲-تغییر مقدار اختلال به ازای٤ هدف در DRFM

با افزایش تعداد اهداف در شبکه و با تغییر افزایشی مقدار SINR انتظار می‌رود که مقدار اختلال کاهش یابد. به بیان دیگر با افزایش تعداد اهداف مقدار اختلال نیز افزایش خواهد یافت. اما افزایش تداخل را می‌توان با افزایش مقدار SINR جبران کرد. در روش پیشنهادی در راستای بررسی این ادعا، تعداد اهداف افزایش داده شده است، و مقایسه با تعداد بیشتر اهداف انجام شده است. شکل ۳ این تغییرات را به ازای ۸ هدف نشان می‌دهد. شکل ۴ به ازای وجود ۱۲ کاربر میزان تداخل را نشان می دهد.



شکل ۱- تغییر مقدار تداخل در شبکه به ازای۸ هدف

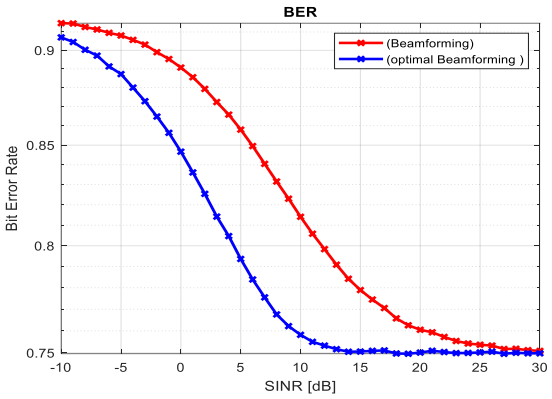


شکل ۲-تغییر مقدار تداخل در شبکه به ازای ۱۲ هدف

همانگونه که انتظار میرفت، با افزایش مقدار SINR مقدار تداخل کاهش یافته است. اما با افزایش تعداد اهداف میزان تداخل نیز افزایش یافته است. این در حالی است که در روش شبه بهینه و بهینه پیشنهادی شکل دهندهی پرتو هماهنگ میزان افزایش تداخل نسبت به روش شکل دهندهی پرتو هماهنگ بسیار کمتر است. در تمامی آزمایشات تعدادهداف ثابت در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در شبیه سازیها، نتایج هر دو روش شبه بهینه و بهینه پیشنهادی شکل دهندهی پرتو هماهنگ تقریبا یکسان است. اما برتری نسبت به روش شکل دهندهی پرتو هماهنگ نسبت به روش پایه برتری نشان داده شده است.

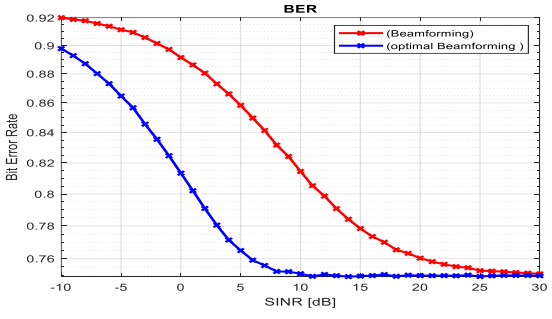
٤-۲-ارزیابی مقدار BER

به منظور مقایسه نرخ خطای بیت(BER)، همانند ارزیابی در میزان تداخل، مقدار SINR افزایش داده شده است. همزمان مقدار BER محاسبه شده است. شکل ۵ نشان دهنده مقدار BER در شبکه با ۴ هدف است. همانگونه که از شکل پیداست، مقدار BER به ازای افزایش SINR در روش بهینه پیشنهادی از مقدار حدود ۰/۹۵ تا ۰/۷۴ کاهش یافته است. اگرچه در روش شکل دهندهی پرتو هماهنگ این مقدار هم از ۰/۹۵ تا ۰/۷۴کاهش نشان داده است، مهمترین قسمت برتری روش پیشنهادی، رسیدن به حداقل مقدارد در SINR پایینتر است. به بیان دیگر در روش شکل دهندهی پرتو هماهنگ پیشنهادی، در مقدار SINRحدود ۱۰ dbm به کمترین مقدار خود رسیده است. اما در روش بهینه شده شکل دهنده هماهنگ، در۲۰ dbm این رخداد صورت گرفته است. به بیان دیگر با ارائه روش بهینه پیشنهادی، مصرف انرژی در رسیدن به BER بهینه نیز کاهش خواهد یافت. که از مزایای روش پیشنهادی است.

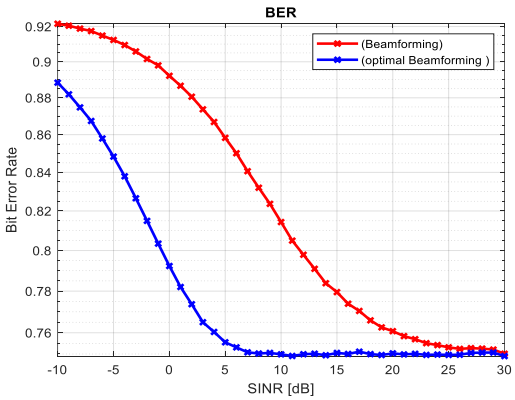


شکل ۳- مقدار BER برای ٤ هدف

تعداد اهداف به ۸ و سپس ۱۲ هدف در شکلهای ۶ و ۷ افزایش داده شده است. همانگونه که انتظار میرفت مقدار BERبا افزایش تعداد اهداف افزایش داشته است، این در حالی است که مقدار BER در روش پیشنهادی بهینه به مراتب کمتر از مقدار روش شکل دهندهی پرتو هماهنگ است. همچنین بر اساس نمودارها، بهترین مقدار SINR در ارسال داده و برقراری ارتباط در شبکه در روش پیشنهادی در حدود ۱۰dBدست آمده است. علت برتری روش پیشنهادی را میتوان در این امر دانست که اهداف سعی در افزایش نرخ خود در برابر جمینگ هستند. به بیان دیگر تابع هدف مورد نظر در بهینه سازی روش شکل دهنده پرتو هماهنگ سبب این بهبودی نسبی شده است. همچنین افزایش کارایی و نرخ کل سیستم در شکل دهی پرتو هماهنگ در نظر گرفته شده است. همچنین در روش پیشنهادی با مصرف انرژی کمتر، به BER مناسبی در شبکه دست پیدا خواهد کرد.



شکل ٤- مقدار BER برای۸ هدف



شکل ۵- مقدار BER برای ۱۲ هدف

تعداد اهداف به ۸ و سپس ۱۲ در شکل های ۶ و۷ افزایش داده شده است. همانگونه که انتظار می‌رفت مقدار BERبا افزایش تعداد اهداف افزایش داشته است، این در حالی است که مقدار BER در روش پیشنهادی بهینه به مراتب کمتر از مقدار روش شکل دهنده‌ی پرتو هماهنگ است. همچنین بر اساس نمودارها، بهترین مقدار SINR در ارسال داده و برقراری ارتباط در شبکه در روش پیشنهادی در حدود dB۱۰ دست آمده است. علت برتری روش پیشنهادی را می‌توان در این امر دانست که اهداف سعی در افزایش نرخ خود در برابر جمینگ هستند. به بیان دیگر تابع هدف مورد نظر در بهینه سازی روش شکل دهنده پرتو هماهنگ سبب این بهبودی نسبی شده است. همچنین افزایش کارایی و نرخ کل سیستم در شکل دهی پرتو هماهنگ در نظر گرفته شده است. همچنین در روش پیشنهادی با مصرف انرژی کمتر، به BER مناسبی در شبکه دست پیدا خواهد کرد.

۵-نتیجه گیری

در این مقاله به منظور ارزیابی روش پیشنهادی در بهبود مقادیر تداخل و BER در روش مبتنی بر بهبود شکل دهنده پرتو هماهنگ ارائه شده است. به این منظور یک DRFM به منظور ایجاد اختلال در نظر گرفته شد. سپس روش پیشنهادی به کمک پردازش سیگنال و در نرم افزار متلب روی این DRFM پیاده سازی شد. در روش پیشنهادی با در نظر گرفتن افزایش تعداد اهداف متناسب با برآورده شدن نرخ قابل قبولی، یک تابع هدف در نظر گرفته شده است. بر اساس این تابع هدف مقدار تداخل و BER کاهش داده شده است. در ارزیابی روش پیشنهادی اثر افزایش اهداف در روی تداخل و BER بررسی شده است. به این منظور مقدار SINR تغییر داده شد، و بر اساس تغییر مقدار SINR و تغییر تعداد اهداف ارزیابی صورت گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش تعداد اهداف مقدار تداخل و همچنین مقدار BER هم افزایش داشته است. افزایش مقدار اهداف در روش شکل دهنده پرتو هماهنگ بهینه و شبه بهینه پیشنهادی با افزایش تعداد اهداف، بسیار کمتر از شکل دهنده پرتو هماهنگ است. علت این برتری هم افزایش نرخ اهداف به گونه ای که نرخ قابل قبول کاربر اولیه نیز برآورده شود، می‌باشد. همچنین تابع بهینه سازی مورد نظر در دو حالت بیان شده سبب شده است که این مهم لحاظ شود. بهبود سرعت همگرایی و همچنین همگرا شدن به مقادیر بهینه از جمله نوآوری این پژوهش است. با استفاده از روش پرتو هماهنگ، تداخل به شدت بهبود داده می‌شود، برای نشان دادن این موضوع از معیارهای SINR[1]، نرخ خطای بیت (BER) و میزان تداخل اهداف استفاده خواهد شد. در این مقاله یک روش کارآمد به منظور بهبود مقدار BER و اختلال ارائه کرده است، اما از آنجایی که حل مسئله شکل دهنده پرتو هماهنگ یک مسئله NP-hard است، رسیدن به پاسخ بهینه مستلزم برقرای برخی از شروط است. روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های فرا اکتشافی می‌توانند به صورت موثرتری در حل مسائل بهینه سازی به کار گرفته شوند. از این رو پیشنهاد می‌گردد از روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های فرا اکتشافی در تحقیقات آتی استفاده شود. استفاده از روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به نظر می‌رسد با استفاده از روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین می‌توان عملکرد این سیستم را مخصوصا در بخش شناسایی و تشخیص سیگنال‌های دشمن به خوبی استفاد کرد.

مراجع

[۱] M. Streetly, Jan's Radar and Electronic Warfare System. Jan's Information Group,2001.

[۲] نوروزی، ی؛ لطفی، میثم. جنگ الکترونیک راداری. دانشگاه جامع امام حسین(ع), ۱۳۹۷.

[3] "Understanding Digital Radio Frequency Memory," Royal Military College of Canada, 2020.

[۴] مقدمه ای بر سامانه ها دفاع الکترونیکی. موسسه آموزش و تحقیقاتی صنایع دفاعی, ۱۳۸۹.

[5] P. E. Pace, Developing Digital RF Memories and Transceiver Technologies for Electromagnetic Warfare. Artech House, 2022.

[6] B. R. Mahafza and R. J. Balla, "Radar Electronic Warfare Techniques," in Handbook of Radar Signal Analysis: Chapman and Hall/CRC, 2021, pp. 159-182..

[7] A. De Martino, "Introduction to Modern EW Systems," Artech House Radar Library, 2012.

[1] Signal to Interference & Noise Ratio

[8] L. V. Nguyen, "Photonic radio frequency memory-design issues and possible solutions," DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION SALISBURY (AUSTRALIA) SYSTEMS …٢٠٠٣.

[9] Z. H. Qaisar et al., "Effective beamforming technique amid optimal value for wireless communication," Electronics, vol. 9, no. 11, 2020.

[10] C. Hellings, F. Askerbeyli, and W. Utschick, "Two-user SIMO interference channel with treating interference as noise: Improper signaling versus time-sharing," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 68, pp. 6467-6480, 2020.