

طراحی سیگنال فریب مجموع چیرپ، به منظور اخلاص فریبنده در رادار با معیار بهینه نسبت توان حداکثر به توان متوسط

تاریخ دریافت:

۱۲ آبان ماه ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:

۱۶ دی ماه ۱۴۰۳

کازم غفاری^۱، یاسر نوروزی^۲، پوریا اعتضادی فر^{۳*}

۱. دانشجو دکتری، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

۲. استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران.

۳. استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

چکیده

این تحقیق به طراحی سیگنال فریب مجموع چیرپ برای اخلاص در رادارهای دشمن با هدف بهینه‌سازی نسبت توان حداکثر به توان متوسط (PAPR) می‌پردازد. با تولید سیگنال‌های کاذب و ارسال آن‌ها به سمت رادارهای دشمن، امکان فریب و سردرگمی رادار فراهم می‌شود. در این راستا، سیگنال رادار دشمن به وسیله یک اخلاص‌گر فریبنده دریافت شده و پس از اعمال شیفت‌های زمانی و فرکانسی مناسب، سیگنال‌های جعلی تولید می‌شود. این تحقیق از روش‌های بهینه‌سازی عددی، به ویژه روش نیوتن-رافسون، برای تعیین مقادیر بهینه شیفت‌های زمانی و فرکانسی استفاده می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که با انتخاب مناسب این شیفت‌ها، می‌توان PAPR را به حداقل رساند و در عین حال اهداف خودی را به خوبی از دید رادار دشمن پنهان کرد. این یافته‌ها می‌تواند به طراحی مؤثرتر سیستم‌های اخلاص‌گر در میدان‌های نبرد کمک کند.

واژه‌های کلیدی: اخلاص‌گر فریبنده، PAPR، JSRmin، سیگنال فریب، شیفت فرکانسی، شیفت زمانی.

Total Chirp Deception signal design for decoy interference in radar with the optimal ratio of maximum power to average power (PAPR)

Kazem Ghaffari¹, Yaser Norouzi², Pouriya Etezadifar^{*3}

1. Department of Electrical Engineering, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran.
2. Assistant professor, Department of Electrical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.
3. Assistant professor, Department of Electrical Engineering, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran.

Abstract

This research focuses on the design of total chirp deception signals for jamming enemy radars to optimize the Peak to Average Power Ratio (PAPR). By generating false signals and sending them toward enemy radars, it is possible to deceive and confuse the radar in detecting friendly targets. In this context, the enemy radar signal is received by a deceptive jammer, which then applies appropriate time and frequency shifts to produce fake signals. This study employs numerical optimization methods, particularly Newton-Raphson, to determine the optimal values for time and frequency shifts. The results indicate that by appropriately selecting these shifts, PAPR can be minimized while effectively concealing friendly targets from enemy radar. These findings can contribute to the more effective design of jamming systems in battlefield scenarios.

Key words: Deceptive jammer, PAPR, JSRmin, decoy signal, frequency shift, time shift.

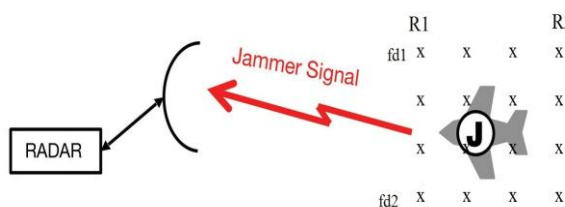
رادار است به طوری که معیار PAPR حداقل گردد. این مسئله از نوع مسائل مقید می‌باشد. در مسائل مقید، دامنه متغیرهای تصمیم مشخص است [۵]. قیدهای این مسئله به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

- ۱- مقدار JSR⁵ در هیچ نقطه‌ای از مقدار مشخصی کمتر نگردد.
 - ۲- مقدار شیفت زمانی مساوی یا کمتر از صفر نباشد.
 - ۳- مقدار شیفت فرکانسی مساوی یا کمتر از صفر نباشد.
- موضوع دیگر اینکه، چون بعضی از اهداف کاذب نسبت به هدف واقعی دارای فاصله نزدیک‌تر یا دورتر می‌باشند، لذا نقاط تولید شده نسبت به یکدیگر دارای وزن‌ها و تاثیرهای مختلف در محو کردن هدف واقعی هستند، بنابراین در صورت نیاز باید ماتریس وزن‌دهی w را نیز بدست آوریم.

از چالش‌های قابل‌تعمل، یافتن روش بهینه و مناسب در انتخاب مدل بهینه‌سازی عددی در بدست آوردن نتیجه می‌باشد. با توجه به ویژگی‌های پروژه، روش نیوتن-رافسون در نظر گرفته شده است ولی بعد از بدست آوردن نتایج و بررسی آنها، در مورد روش صحیح می‌توان تصمیم‌گیری نمود. از دست‌آوردهای این مقاله می‌توان در طراحی سیگنال‌های مناسب در اختلال‌گرها جهت اختلال در رادارهای دشمن استفاده نمود. در این مقاله بعد از چکیده و مقدمه، در بخش دوم و سوم موضوع مقاله و آنچه که به دنبال آن هستیم آورده شده است. در بخش چهارم و پنجم، در مورد روش‌های استفاده شده در پیاده‌سازی موضوع مقاله که همانا بهینه‌سازی عددی و فیلتر منطبق است توضیح داده شده و در بخش ششم پیشینه تحقیق و در بخش هفتم نتیجه‌گیری آورده شده است و در آخر نیز قدردانی و مراجع می‌باشد.

۲-سیگنال مجموع چیرپ

اگر فرض کنیم محدوده‌ای که قرار است اختلال‌گر فریبنده آن را با استفاده از سیگنال‌های جعلی پوشش^۶ دهد، بین $R1$ و $R2$ و همچنین $Fd1$ و $Fd2$ باشد، بنابراین برای بدست آوردن رابطه سیگنال اختلال‌گر، مانند شکل ۱ این فضا را به ΔR ها و Δfd های مساوی تقسیم می‌کنیم.



شکل ۱- محدوده پوشش داده شده توسط سیگنال فریب

در سال‌های اخیر استفاده از انواع اختلال‌گر در صحنه‌های نبرد بسیار متداول و تعیین کننده شده است. از انواع اختلال‌گرها می‌توان به اختلال‌گرهای نویزی و اختلال‌گرهای فریبنده اشاره نمود. اختلال‌گرهای فریبنده نسبت به اختلال‌گرهای نویزی موثرتر می‌باشند زیرا که در مواقع استفاده از اختلال‌گر فریبنده، زمان بیشتری طول خواهد کشید تا اپراتور رادار متوجه گردد که تحت تاثیر اختلال‌گر قرار گرفته است [۱]. یکی از روش‌های متداول در اختلال‌گرهای فریبنده به این صورت است که اختلال‌گر فریبنده خودی، سیگنال رادار دشمن را دریافت نموده و بعد از اعمال شیفت زمانی و شیفت فرکانسی توسط سیستم^۱ DRFM در آن، آن را به سمت رادار ارسال می‌نماید. این سیگنال جعلی در رادار دشمن باعث ایجاد اهداف کاذب و در نهایت گمراه شدن رادار می‌گردد. علت استفاده از سیگنال رادار در اختلال‌گر فریبنده به این دلیل است که سیگنال جعلی تولید شده در اختلال‌گر فریبنده، دارای بیشترین شباهت با سیگنال رادار بوده و به همین دلیل فیلتر منطبق رادار که یک سیستم خطی و تغییرناپذیر با زمان می‌باشد، از ورود سیگنال جعلی به داخل گیرنده رادار ممانعت نمی‌نماید [۱]. با تولید چندین عدد سیگنال جعلی به طور همزمان توسط اختلال‌گر فریبنده و ارسال آنها به سمت رادار دشمن، می‌توان اهداف خودی را در بین سیگنال‌های جعلی پنهان نموده به طوری که رادار متوجه نگردد که کدام سیگنال متعلق به هدف اصلی و کدام سیگنال متعلق به اهداف کاذب می‌باشد. به همین منظور باید به طور دقیق بررسی گردد که برای تاثیر حداکثر اختلال‌گر فریبنده بر روی رادار، چه تعداد باید هدف جعلی تولید گردد. اگر تعداد سیگنال‌های جعلی تولید شده در اختلال‌گر فریبنده زیاد باشد، این مزیت را خواهد داشت که هدف خودی به راحتی در بین اهداف دروغین پنهان می‌گردد، ولی این ایراد به وجود خواهد آمد که معیار PAPR^۲ در تقویت کننده اختلال‌گر افزایش می‌یابد. افزایش PAPR به مفهوم کاهش بازده و به اشباع رفتن تقویت کننده اختلال‌گر خواهد شد و باعث می‌گردد که نتوان از توان حداکثر تولید شده توسط تقویت کننده استفاده نمود. همچنین اگر تعداد سیگنال‌های جعلی تولید شده در اختلال‌گر فریبنده کم باشد این مزیت را خواهد داشت که معیار PAPR^۳ افزایش نیافته و در نتیجه بازده تقویت کننده در اختلال‌گر کاهش نمی‌یابد و تقویت کننده اشباع نخواهد شد ولی این ایراد پیش خواهد آمد که هدف خودی نتواند به راحتی از دید رادار دشمن پنهان گردد.

در این مقاله سیگنال رادار دشمن از نوع LFM^۴ در نظر گرفته شده است. با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی عددی مانند روش نیوتن-رافسون، تعداد بهینه سیگنال‌های جعلی تولید شده توسط اختلال‌گر فریبنده، بدست آورده می‌شود. در طرح سوال بهینه‌سازی عددی، مسئله اصلی بدست آوردن مقدار شیفت زمانی و شیفت فرکانسی در سیگنال

³ Peak to average power ratio

⁴ linear frequency modulation

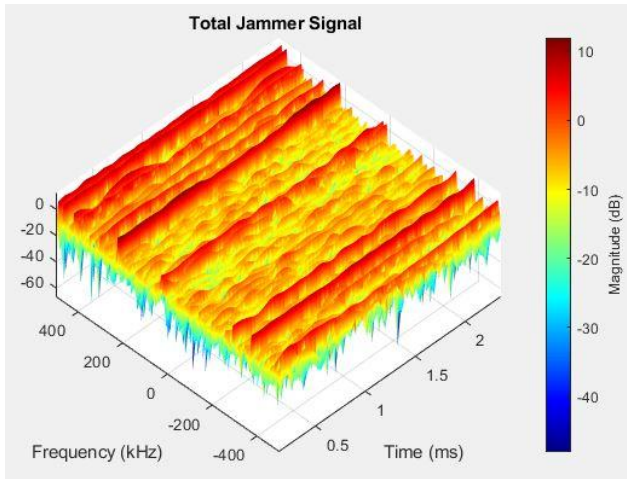
⁵ Jammer to signal ratio

⁶ Mask

¹ Digital Radio Frequency Memory

² Peak to Average Power Ratio

در شکل شماره ۳، سیگنال کلی اخلاص گر فریب در حوزه فرکانس به ازای مقادیر ثابت ΔR و Δf_d ثابت و با استفاده از نرم افزار Matlab رسم شده است.



شکل ۳- سیگنال کلی اخلاص گر فریب در حوزه فرکانس

۳- محاسبه معیار PAPR و JSRmin

از موارد مهمی که در موقع طراحی گیرنده و فرستنده باید مد نظر قرار گیرد، معیار PAPR است. هر چقدر مقدار این متغیر زیاد گردد نشان دهنده این موضوع است که تقویت کننده وارد ناحیه اشباع شده و نمی توان از توان حداکثر تولید شده استفاده بهینه نمود. به عبارت دیگر بازده تقویت کننده کاهش می یابد [۳]. PAPR از رابطه شماره ۵ بدست می آید [۴].

$$PAPR = 10 * \log\left(\frac{\text{Peak Power}}{\text{Average Power}}\right) \quad (5)$$

برای بدست آوردن توان متوسط از رابطه ۶ استفاده می کنیم [۴].

$$\text{Average Power} = P_{av} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |y[n]|^2 \quad (6)$$

در رابطه ۶، $y[n]$ سیگنال کلی اخلاص گر فریب و با توجه به اینکه محاسبات گسسته می باشد، N تعداد نمونه ها می باشد. اخلاص گر فریب از نوع خود محافظ در نظر گرفته شده است لذا مقدار JSR از رابطه زیر محاسبه می گردد [۱]:

$$JSR_{\text{Self Protection}} = \frac{P_j G_j}{P_t G_r} * \frac{4\pi}{\sigma} * R_t^2 \quad (7)$$

معیار JSRmin برابر حداقل مقدار تابع ابهام است.

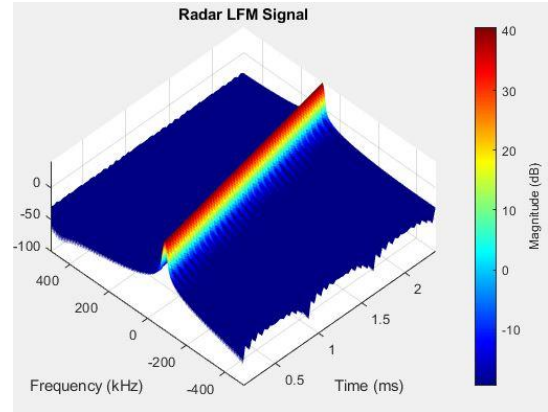
۴- بهینه سازی عددی

از روش های مهم و مطرح در بهینه سازی عددی مسائل مقید، روش نیوتن-رافسون می باشد [۶]. با توجه به اینکه موضوع رساله از نوع مقید می باشد لذا برای بدست آوردن ΔR ، Δf_d بهینه از روش نیوتن-رافسون استفاده خواهد شد. برای حل مسئله فرض شده است که موضوع از نوع محدب^۱ است و به صورت زیر مطرح می گردد [۶]:

سیگنال رادار دشمن از نوع LFM در نظر گرفته شده است و با $s_r(t)$ آن را نمایش می دهیم [۲].

$$\text{Radar Signal} = s_r(t) = \frac{1}{\sqrt{\tau_0}} \text{Rect}\left(\frac{t}{\tau_0}\right) e^{j\pi \frac{B}{\tau_0} t^2} \quad (1)$$

شکل شماره ۲ سیگنال LFM در حوزه فرکانس با نرم افزار متلب است:



شکل ۲- سیگنال LFM رادار

سیگنال رادار بعد از اینکه توسط اخلاص گر دریافت گردید، شیفیت زمانی و فرکانسی به آن اعمال می گردد [۲۲]. اگر سیگنال اخلاص گر را با $s_j(t)$ نشان دهیم، بنابراین طبق رابطه ۲ خواهیم داشت:

$$\text{Jammer Signal} = s_j(t) = s_r(t - \tau) e^{j2\pi f_d t}$$

$$s_j(t) = \frac{1}{\sqrt{\tau_0}} \text{Rect}\left(\frac{t - \tau}{\tau_0}\right) e^{j\pi \frac{B}{\tau_0} (t - \tau)^2} e^{j2\pi f_d t} \quad (2)$$

اخلاص گر فریب، مجموعه ای از سیگنال های شیفیت داده شده رادار را با فاصله های مساوی ΔR و Δf_d به سمت رادار دشمن ارسال می نماید. لذا با توجه به شکل ۱، روابط ۳ را خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} R[m] &= R_1 + (m-1)\Delta R \\ f_d[n] &= f_{d1} + (n-1)\Delta f_d \\ \tau &= \frac{2R[m]}{c} \end{aligned} \quad (3)$$

τ مقدار تاخیر می باشد. بنابراین رابطه سیگنال کلی اخلاص گر فریب که با $s_{j_total}(t)$ نامیده شده است به صورت رابطه ۴ خواهد بود:

$$\begin{aligned} \text{Total Jammer Signal} &= s_{j_total}(t) \\ s_{j_total}(t) &= \sum_{MR_m} \sum_{Nf_{dn}} s_j(t) = \\ &= \sum_{MR_m} \sum_{Nf_{dn}} \frac{1}{\sqrt{\tau_0}} \text{Rect}\left(\frac{t - \tau}{\tau_0}\right) e^{j\pi \frac{B}{\tau_0} (t - \tau)^2} e^{j2\pi (f_{dn}) t} \end{aligned} \quad (4)$$

¹ Convex

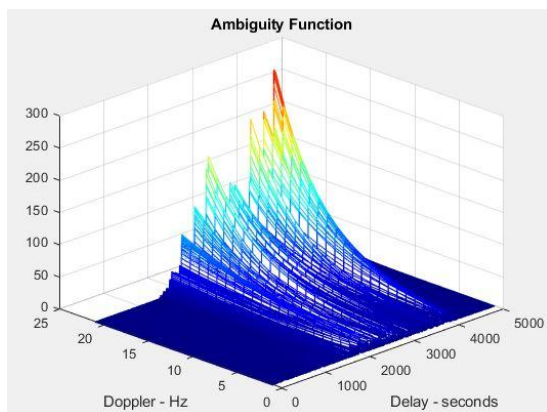
اخلال گر [۲]. خروجی فیلتر منطبق با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌گردد [۴]:

$$\chi(\tau, f_d) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_r(t) * s_{j_total}^*(t - \tau) e^{j2\pi f_d t} dt \quad (7)$$

تابع ابهام برابر است با توان دوم قدرمطلق خروجی فیلتر منطبق لذا از رابطه ۸ بدست می‌آید [۴]:

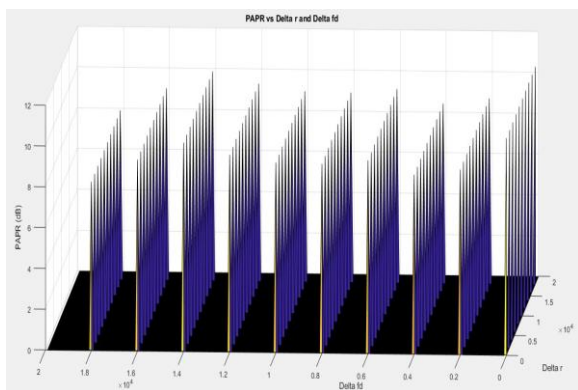
$$|\chi(\tau, f_d)|^2 = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} s_r(t) * s_{j_total}^*(t - \tau) e^{j2\pi f_d t} dt \right|^2 \quad (8)$$

با استفاده از نرم‌افزار Matlab، تابع ابهام بین سیگنال رادار و سیگنال کلی اخلال گر به صورت شکل ۴ حاصل می‌شود:



شکل ۴- تابع ابهام سیگنال خروجی فیلتر منطبق رادار

در ادامه مقاله رسم ۳ بعدی معیارهای PAPR و JRSmin بر حسب ΔR و Δf_d رسم شده است که نتایج به شکل شماره ۵ و ۶ نشان داده شده است.

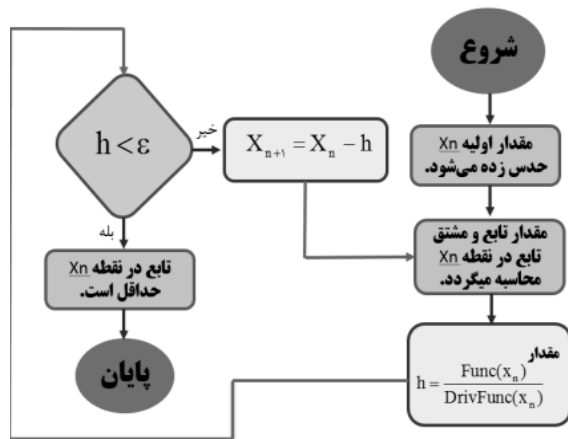


شکل ۵- معیار PAPR بر حسب ΔR و Δf_d

جهت تحقیق و بررسی در رابطه با ارتباط بین معیار PAPR و JSRmin و تاثیر آنها بر روی سیگنال‌های رادار، این دو معیار نسبت به یکدیگر رسم شده‌اند. برای طراحی سیگنال فریب در جمرها از روش شیفت فرکانسی استفاده شده است.

$$\begin{cases} \min f(x) = \text{PAPR}_j = 10 \log \frac{P_{j_Peak}}{P_{j_Avg}} \\ \text{Subject to } C \begin{cases} \text{SUM} \geq 1 \\ \Delta R > 0 \\ \Delta f_d > 0 \end{cases} \\ C \in \mathbb{R}^n \\ x = \begin{bmatrix} \Delta R \\ \Delta f_d \end{bmatrix} \\ x \in \mathbb{R}^2 \end{cases} \quad (9)$$

موضوع مسئله بهینه سازی، حداقل کردن معیار PAPR با در نظر گرفتن قیودی از جمله اینکه مقدار JSRmin در هیچ نقطه‌ای از مقدار مشخصی کمتر نگردد و همچنین مقادیر $\Delta R, \Delta f_d$ مقادیر مثبت باشند. در روش نیوتن-رافسون از الگوریتم شکل ۸ استفاده می‌شود:



شکل ۸- الگوریتم نیوتن-رافسون

در این الگوریتم ابتدا مقدار اولیه $x[n]$ به صورت تصادفی حدس زده می‌شود و در تابع مورد نظر قرار داده می‌شود. در مرحله بعد مقدار تابع و مشتق تابع در نقطه اولیه محاسبه می‌گردد سپس با استفاده از تقسیم مقدار تابع به مشتق تابع، متغیر h بدست می‌آید. اگر مقدار h کمتر از مقدار مشخص خطا، ϵ باشد، تابع در نقطه $x[n]$ کمترین مقدار را دارد و الگوریتم پایان می‌پذیرد در غیر این صورت نقطه دوم به صورت $x[n] - h$ بدست آمده و در تابع قرار داده می‌شود و دوباره مراحل بالا انجام می‌گردد [۶].

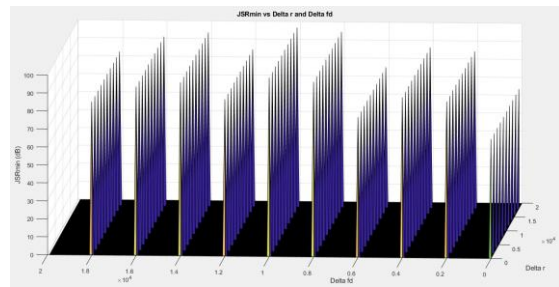
۵- خروجی فیلتر منطبق و تابع ابهام

فیلتر منطبق رادار، یک سیستم LTI^1 است لذا خروجی آن برابر است با همبستگی متقاطع² بین سیگنال LFM رادار و سیگنال کلی

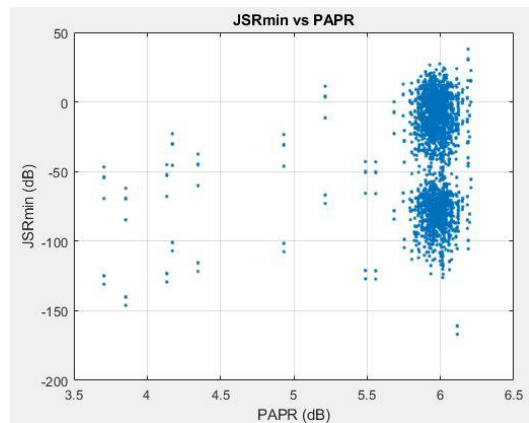
¹ Liner Time Invariant

² Cross Corellation

توجه قرار گرفته است [۷]. استفاده از سیگنال‌های چیرپ^۴ به دلیل خاصیت‌های ویژه آن‌ها، نظیر پوشش طیفی گسترده و حساسیت به بازتاب‌ها، به طور خاص بررسی شده و در این زمینه، مدل‌های مختلفی برای طراحی سیگنال‌ها وجود دارد که هدف آنها فریب رادار به بهترین نحو ممکن و همچنین بهینه‌سازی مشخصه‌هایی نظیر نسبت توان حداکثر به متوسط بوده است. الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم‌های ژنتیک، روش‌های برنامه‌ریزی خطی و تکنیک‌های هوش مصنوعی نیز برای حل این مساله به کار رفته‌اند [۱۵]. تئوری‌های مربوط به وابستگی ورودی و خروجی در سیستم‌های راداری و سیگنالی که به طور همزمان فرستاده می‌شوند، نیز در این راستا مورد توجه قرار دارد. این مباحث می‌تواند شامل تحلیل‌های آماری و مقایسه کارایی سیگنال‌های مختلف باشد. طراحی سیگنال فریب راداری با استفاده از تکنیک تغییر فرکانسی^۵ و تغییر زمانی^۶ از روش‌های جدید می‌باشد و در این زمینه مقالات کمی موجود است. در مقاله [۱۷]، از تکنیک شیفت فرکانسی در راداری جدید به نام FH LFM FD MIMO استفاده کرده است. در این رادار فرکانس‌های مختلف در آرایه‌های فرستنده به عنوان یک کد فرکانسی متنوع^۷ ظاهر می‌شوند که از ترکیب یک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۸ و نقشه‌برداری ارزش رتبه‌ای^۹ برای بهبود عملکرد سرکوب جمینگ، تولید شده است. در مقاله [۱۸]، به طراحی و تحلیل یک سیگنال راداری جدید به نام TFRC-MCPC^{۱۰} پرداخته است، که با استفاده از این روش به مقابله با نوعی اختلال به نام ISRJ^{۱۱} می‌پردازد. در این مقاله با استفاده از اصول طراحی موج‌نگاری^{۱۲} و با استفاده از روش TFRC، سیگنال جدیدی را پیشنهاد می‌کند که از دنباله‌های آشوبی برای کدگذاری استفاده می‌کند. علت استفاده از دنباله‌های آشوبی، افزایش تصادفی بودن پالس‌های راداری و کاهش همبستگی بین اکوهای راداری و اختلالات ISRJ است. این کار به طور موثری باعث کاهش تداخل ناشی از اهداف کاذب می‌شود. در مقاله [۱۹]، ارائه یک تکنیک موثر برای مقابله با جمرهای فریبنده در رادارها با مدولاسیون OFDM مطرح شده است. در این مقاله، به بهینه‌سازی کدهای فازی زیر حامل‌های OFDM پرداخته‌اند تا قدرت جمر را در بازه مشخصی کاهش دهند. در مقاله [۲۱]، به بررسی انواع مختلف جمر به ویژه جمر فریبنده فعال^{۱۳} می‌پردازد. جمر فریبنده فعال دارای ویژگی‌های مشابه با سیگنال‌های ارسالی از رادار است و می‌تواند به طرز جدی بر تشخیص و پیگیری اهداف واقعی توسط رادار تأثیر بگذارد. همچنین در این مقاله از یک موج ضد جمر به نام موج کدگذاری شده فرکانسی مشترک بین پالسی و فرایند مقابله با جمر تحلیل شده است.



شکل ۶- معیار JSRmin بر حسب ΔR و Δf_d



شکل ۷- رسم نمودار JSRmin بر حسب PAPR

به عنوان مثال در مقاله [۲۳] استفاده از روش تغییر فرکانسی در طراحی سیگنال فریب در رادارهای SAR^۱ توضیح داده شده است. در مقاله [۲۴] طراحی سیگنال فریب بر اساس تغییر فرکانسی در رادارهای LFM پرداخته است. در این روش از DRFM^۲، فاز سیگنال رادار با استفاده از نمونه‌های کانال I و Q بدست می‌آید. سپس یک فاز متغیر زمانی به آن اضافه می‌گردد تا سیگنال فریب تولید گردد. بر اساس هدف کاذب اولیه‌ای که ایجاد می‌شود، مقاله [۲۴] به معرفی یک روش تولید سیگنال فریب برای تولید چندین هدف کاذب بر اساس FIFO^۳ می‌پردازد. لازم به ذکر است که بعد از بررسی چندین مقاله مرتبط با موضوع این تحقیق، مشاهده گردید که در روش استفاده شده در این تحقیق، از روش بهینه‌سازی عددی در بدست آوردن مقدار بهینه شیفت فرکانسی و شیفت زمانی استفاده شده است. روش بهینه‌سازی عددی نسبت به روش‌های قبلی می‌تواند با سرعت بالاتری به شیفت فرکانسی و شیفت زمانی مناسب برسد.

۶- بررسی و مقایسه سوابق پیشین

تحقیقات در زمینه طراحی سیگنال فریب به منظور اختلال در عملکرد رادارها، گوناگون بوده و به خصوص در کاربردهای نظامی بسیار مورد

⁸ Particle swarm optimization

⁹ Rank order value

¹⁰ Time frequency random coded multi carrier phase coded

¹¹ Interrupted sampling repeater jamming

¹² Waveform design

¹³ Active deception jamming

¹ Synthetic Aperture Radar

² digital radio frequency memory

³ First In, First Out

⁴ Chirp

⁵ Frequency shifting

⁶ Time shifting

⁷ Frequency diverse code

۷- نتیجه گیری و بحث

نهایت، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات آینده به بررسی روش‌های جدید بهینه‌سازی و الگوریتم‌های پیشرفته‌تر برای افزایش کارایی سیگنال‌های فریبنده بپردازند.

۸- تشکر و قدردانی

از اساتید عزیزم آقای دکتر یاسر نوروزی و آقای دکتر پوریا اعتضادی فر که اینجانب را در نوشتن این مقاله یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از استاد عالی‌قدر آقای دکتر حمیدرضا خدادادی که با راهنمایی‌های خردمندانه خود اینجانب را در پیش‌برد اهدافم کمک نمودند بسیار ممنون و سپاس‌گزارم.

۹- مراجع

- [۱] نوروزی، یاسر، لطفی، میثم، "جنگ الکترونیک راداری"، کتاب، تهران، انتشارات دانشگاه جامع امام حسین (ع)، ۱۳۹۶.
- [۲] ماهافزا، باسهم، "پردازش و تحلیل سیگنال رادار با استفاده از Matlab"، مترجمان: صادق‌زاده، رمضان‌علی؛ سهیلی فر، محمد رضا؛ ویرایش ۲۰۰۹، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۲.
- [۳] کریمی، بشیررضا، "کاهش نسبت توان اوج به توان متوسط (papr) در سامانه‌های mimo_ofdm با استفاده از پردازش فضایی و زمانی"، تهران، وزارت علوم و تحقیقات و فن‌آوری، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده برق و کامپیوتر، ۱۳۹۳.
- [4] B. R. Mahafza, "Radar Signal Analysis And Processing Using Matlab", Colsa Corporation, Huntsville, Alabama, Book, 2009.
- [5] <http://blog.faradars.org/1116995.para>, 2, [Online]. Available: [Accessed: Sept. 12, 2020].
- [6] J. Nocedal, S. J. Wright, "Numerical Optimization", Book, Springer, 2001.
- [7] A. Azouz, S. G. Salem, "A new Sidelobe Cancellation Method for LFM Radars", military-technical College Kobry el-kob bah, Cairo, Egypt, 11th international conference on electrical engineering, ICEENG, April 2018.
- [8] Qingyang Sun, Ting Shu, Shicheng Zhou, Bin Tang, Wenxian Yu, "A Novel Jamming Signal Generation Method for Deceptive SAR Jammer", 978-1-4799-2035-14/\$31.00, 2014 IEEE.
- [9] Huabing Yang, Guangxue Wang, Wei Luo, Jing Deng, "Analysis and Simulation of SAR Jamming Principle", IEEE 4th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC 2018).
- [10] Hongrong Zhang, Yuesheng Tang, Guan Wu, Long Sun, "SAR Deceptive Jamming Signal Simulation", East China Research Institute of Electronic Engineering, Hefei 230031, China, 2007 IEEE.
- [11] Jiaxuan Xu, Haipeng Wang, "SYNTHETIC APERTURE RADAR JAMMING SEMI-PHYSICAL SIMULATION SYSTEM BASED ON NI PXI PLATFORM", National Key R&D Program of China (NO. 2017YFA0100203) and by the NSFC projects (61571132, 61571134).
- [12] J. Sun, Y. Yuan, M. Sabrina Greco, and F. Gini, "Coordinated Deception Jamming Power Scheduling for Multijammer Systems Against Distributed Radar Systems" *IEEE Transactions on Radar Systems*, vol. 2, pp. 1076-1088, 2024.
- [13] J. Sun, Y. Yuan, M. S. Greco, F. Gini, X. Yang, and W. Yi, "Anti-Deception Jamming Resource Scheduling for

در این تحقیق، از روش‌های بهینه‌سازی عددی، به‌ویژه روش نیوتن-رافسون، برای تعیین مقادیر بهینه شیفتهای زمانی و فرکانسی استفاده شده است. این روش به ما این امکان را می‌دهد که با دقت بیشتری به تحلیل و طراحی سیگنال‌های فریب بپردازیم و PAPR را به حداقل برسانیم. یکی از نقاط تمایز این تحقیق نسبت به سایر روش‌ها، تمرکز بر بهینه‌سازی همزمان شیفتهای زمانی و فرکانسی به‌منظور کاهش PAPR و افزایش کارایی سیستم‌های اخلاص‌گر است. در مقایسه با روش‌های سنتی که معمولاً به یکی از این شیفتهای توجه می‌کنند، این تحقیق به‌طور جامع‌تری به بررسی تأثیرات متقابل این دو پارامتر می‌پردازد. و همچنین در این تحقیق، طراحی سیگنال فریب مجموع چیرپ به منظور اخلاص در رادارهای دشمن با هدف بهینه‌سازی نسبت توان حداکثر به توان متوسط (PAPR) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با تولید سیگنال‌های جعلی و اعمال شیفتهای زمانی و فرکانسی مناسب، می‌توان به‌طور مؤثری اهداف خودی را از دید رادار دشمن پنهان کرد. همچنین، بهینه‌سازی فاصله شیفتهای زمانی و فرکانسی به‌گونه‌ای که PAPR افزایش نیابد، از چالش‌های اصلی این تحقیق بود. یافته‌ها نشان می‌دهد که با انتخاب دقیق این پارامترها، می‌توان کارایی سیستم‌های اخلاص‌گر را بهبود بخشید.

شکل ۷ نمودار پراکندگی^۱ است که رابطه بین PAPR و JSRmin را نشان می‌دهد. در این مقاله حالت‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفت و این نتایج گرفته شد:

- ۱- با تغییر مقادیر ΔR و Δf_d می‌توان مقدار PAPR را در جهت بهینه تغییر داد که این می‌تواند عامل مهمی باشد.
- ۲- بررسی نمودار نشان می‌دهد که آیا افزایش PAPR با کاهش JSRmin نسبت مستقیم دارد یا خیر. به عبارت دیگر، آیا سیگنال‌هایی با PAPR بالا به‌طور معمول دارای JSRmin پایین‌تری هستند؟
- ۳- PAPR بالا ممکن است نشان‌دهنده غیرخطی بودن و تحریف‌های موجود در سیگنال باشد. در چنین حالتی، JSRmin پایین‌تر می‌تواند به معنای افت کیفیت سیگنال و افزایش تداخلات در محیط مورد نظر باشد.
- ۴- می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در طراحی بهینه سیستم‌های راداری و مخابراتی، نکات مربوط به تعادل بین PAPR و JSRmin باید در نظر گرفته شود.

با بررسی حالت‌های مختلف این نتیجه‌گیری به عمل آمد که عامل JSRmin را می‌توان در بازه زیادی در جهت بهبود یا تخریب تغییر داد ولی مقدار PAPR در حول و حوش ۶ دسیبل تقریباً ثابت است. مفهوم این نتیجه‌گیری این است که زیاد نمی‌توان مقدار PAPR را تغییر داد و تقریباً بر روی آن کنترلی نمی‌توان داشت ولی می‌توان در بازه گسترده‌ای مقدار JSRmin را در جهت بهبود PAPR تغییر داد. در

¹ Scatter Plot

- [20] W. Lang, S. Mei, Y. Liu, F. Zhou, X. Yang, "A Periodic Multiple Phases Modulation Active Deception Jamming for Multistatic Radar System", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 59, no. 4, pp. 3435-3451, Aug. 2023, doi: 10.1109/TAES.2022.3225779.
- [21] Y. Li, J. Wang, Y. Wang, P. Zhang, L. Zuo, "Random-Frequency-Coded Waveform Optimization and Signal Coherent Accumulation Against Compound Deception Jamming", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 59, no. 4, pp. 4434-4449, Aug. 2023, doi: 10.1109/TAES.2023.3243884.
- [22] Alan V. Oppenheim, Alan S Willsky, S. Hamid Nawab, "Signal And Systems", Book, 2nd edition, Prentice Hall Signal Processing Series, 2013.
- [23] Li. Nan, Qu. Changwen, "Research on jamming synthetic aperture radar technologies", 1st Asian and pacific conference on synthetic aperture radar, IEEE, 05-09 november 2007.
- [24] K. Wei, N. Tai, L. Huang, N. Yuan, "Shift-frequency jamming against pulse compression radar," 2016 Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS), Shanghai, 2016, pp. 2251-2254, doi: 10.1109/PIERS.2016.7734921.
- Multitarget Tracking in Distributed Radar Networks," in *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 60, no. 6, pp. 9111-9128, Dec. 2024.
- [14] S. Kim, D. Lee, Y.Park, J.Joo, J.Kim, "Deceptive Jamming for Spaceborne SAR Using Estimated Signal Parameters and Intercepted Signal Phase", *IEEE Access*, vol. 12, pp. 169388-169403, 2024.
- [15] B. Alhijawi, A. Awajan, "Genetic algorithms: theory, genetic operators, solutions, and applications", *Evol. Intel.* 17, 1245–1256 (2024). <https://doi.org/10.1007/s12065-023-00822-6>.
- [16] J. Cheng, Y. Xiong, "Multi-strategy adaptive cuckoo search algorithm for numerical optimization", The College of Mechanical and Control Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, 541006, China, (2023).
- [17] C. L. Hsin, J. F. Kiang, "Frequency-Hopping Frequency-Diverse MIMO Radar for Target Detection and Localization Under False-Target Jamming", *IEEE Access*, vol. 11, pp. 62121-62139,(2023), doi: 10.1109/ACCESS.2023.3287588.
- [18] Ji. Li, Xiang. Luo, Xingyan Duan, Wei Wang, Jianping. Ou, "A Novel Radar Waveform Design for Anti-Interrupted Sampling Repeater Jamming via Time-Frequency Random Coded Method", *Progress In Electromagnetics Research M*, Vol. 98, 89-99, 2020, [doi:10.2528/PIERM20072302](https://doi.org/10.2528/PIERM20072302)
- [19] X. Wang, G. Zhang, X. Wang, Qingqing Song, F. Wen, "ECCM Schemes against Deception Jamming Using OFDM Radar with Low Global PAPR", *sensors*, volume 20, issue 7, 10.3390/s20072071, 2020.