جدول ۱۲ - ردیف ۵۸

تشخیص نوع چرخش آنتن رادار در سیستم شناسایی الکترونیکی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

ملیحه خطیبی مقدم[۱]، حبیب رجبی مشهدی[۱]، سید مصطفی خسرونژاد[۲]

[۱]گروه برق دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

[۲]گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

khosrownejad@um.ac.ir, h_mashhadi@um.ac.ir, khatibi@wali.um.ac.ir

چکیده- استخراج اطلاعات از سیگنالهای راداری، مخابراتی، پزشکی و... یکی از موضوعات مطرح در زمینه پردازش سیگنال می‌باشد. در این دسته از مسائل یک اپراتور و یا یک سیستم هوشمند با دریافت سیگنال، پارامترهایی را از آن استخراج می‌کند. در این مقاله الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش قدرتمند بهینه سازی، در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیگنال مورد نظر یک سیگنال راداری ذخیره شده در یک سیستم شناسایی الکترونیکی است که لازم است نوع چرخش آنتن فرستنده و بعضی از خصوصیات دیگر مربوط به فرستنده رادار از آن تشخیص داده شود. تشخیص نوع چرخش آنتن رادار اطلاعاتی را در مورد نوع رادار و نوع عملیات آن در اختیار قرار می‌دهد. روش پیشنهادی در این مقاله در مقایسه با روشهای مطرح قابلیت تشخیص همزمان چندین پارامتر را دارا است.

کلید واژه- الگوریتم ژنتیک، جاسوسی الکترونیکی، اسکن رادار، پرتو آنتن

۱- مقدمه

تشخیص پارامترهای سیگنالهای راداری و مخابراتی که دارای اطلاعاتی در پوش، فرکانس و یا فاز خود هستند یکی از موضوعاتی است که همواره مورد توجه محققان بوده است. در سیستمهای راداری عموما یک رشته پالس با فرکانسهای رادیویی توسط فرستنده رادار تولید و توسط آنتن رادار در جهت های مختلف و با بهرهای مختلف ارسال می‌شود. انعکاس پالسها از محیط اطراف در گیرنده رادار دریافت و مورد پردازش قرار می گیرد [۱]. بر این اساس فاصله، موقعیت اشیاء و سرعت اهداف کشف شده و گاه مورد ردیابی نیز قرار می‌گیرند. در انواع رادارها بر حسب نوع عملیات و هدف، فرکانس تکرار پالس، فرکانس رادیویی، پرتو آنتن، نوع چرخش آنتن و... متفاوت می‌باشد. سیستمهای شناسایی الکترونیکی[1] با شنود سیگنال راداری به تعیین این پارامترها برای مشخص کردن نوع رادار و عملیات آن می‌پردازند [۲].

در گیرنده‌های مخابراتی برخلاف سیستمهای شنود رادیویی همواره وجود اطلاعاتی از سیگنال ارسالی و یا وجود رشته‌های آموزشی، امکان تخمین کانال، پرتوسازی، جداسازی کانالها، تخمین مدلاسیون و یا بازسازی مجدد سیگنال مخابراتی را فراهم می‌کند. اما در صورت نبود اطلاعاتی از سیگنال ارسالی نیاز به تخمین کور پارامترهای آن است. به این منظور روشهای گوناگونی در پیاده سازی الگوریتمهای وفقی کارآمد در این زمینه مطرح می‌باشد

[1] Electronic Intelligence System

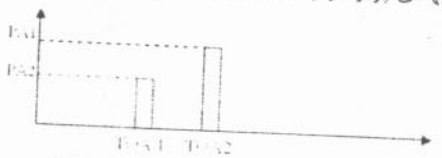
[۳]و[۴]. استفاده از ابزارهای هوشمند در سالهای اخیر به منظور حل این گونه مسائل مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. الگوریتم ژنتیک[1] به عنوان یک روش جستجوی قدرتمند در حل مسائل بهینه سازی، قابلیتهای بالایی در زمینه پردازش سیگنال از جمله پردازش داده‌های پزشکی، پیاده سازی فیلترهای وفقی، پردازش تصویر دارد [۵]. هرچند این موضوع در زمینه سیگنالهای راداری چندان مورد توجه قرار نگرفته است.

آنچه در این مقاله مورد بحث قرار می‌گیرد، تشخیص نوع چرخش آنتن یک سیستم راداری در یک سیستم شناسایی سیگنال[2] است. سیستم های شناسایی سیگنال با شنود سیگنالهای مخابراتی و راداری، اطلاعاتی را از کلیه فرستندهای رادیویی و راداری پوشش دهنده یک منطقه ارائه می‌دهند [۲]. این موضوع در حوزه های مختلف نظامی‌و مخابراتی از حدود سالهای ۱۹۹۰ مورد توجه محققان بوده است. در بخش نرم افزاری این سیستمها پیش پردازشهایی بر روی سیگنالهای دریافتی که در باند پایه می‌باشند صورت می‌گیرد. به عنوان مثال سیگنالها بر اساس زاویه در یافتی دسته بندی شده و بعد از آن بر حسب منبع تابشی نیز از یکدیگر جدا می‌شوند. داده های مورد پردازش عموماً مربوط به یک فرستنده خاص هستند و شامل تشخیص مدلاسیون، نوع چرخش آنتن، فرکانس تکرار پالس و... می‌باشند. پردازشهای این بخش لزوماً بلادرنگ نبوده و عملا اپراتور اطلاعات استخراج شده را در هر لحظه مورد استفاده قرار نمی‌دهد. بلکه این اطلاعات در حافظه های مغناطیسی حجیمی ذخیره شده و در صورت نیاز مورد تحلیل قرار می‌گیرد. وایلی[۲] در دهه ۹۰ کلیه موضوعات مربوط به شناسایی سیگنالهای راداری را بررسی و دسته بندی کرد[3]. روشهای مورد استفاده در سیستمهای معمول به منظور پردازش سیگنال شنود شده برای تشخیص نوع چرخش آنتن فرستنده و چند پارامتر جانبی، استفاده از سطوح آستانه متغیر می‌باشد که دارای خطاهایی است که در بخش بعد ارائه می‌شود. این روشها عمدتاً روشهای جدیدی در حوزه مخابرات نیستند و در عین حال بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد، روشهای مبتنی بر تشخیص الگو نیز برای این موضوع مناسب نمی‌باشند که در بخش ۳ به این موضوع اشاره شده است. براساس روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک که در این مقاله به توصیف آن خواهیم پرداخت، امکان استخراج پارامترهای زیادی از سیگنال دریافتی به صورت همزمان وجود خواهد داشت.

۲- تشخیص نوع چرخش آنتن

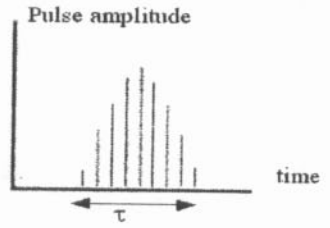
چرخش آنتن معمولا در سیستمهای راداری به منظور جستجو و ردیابی اهداف صورت می‌گیرد و در سیستمهای مخابراتی این موضوع کمتر حائز اهمیت است. در هر صورت چرخش آنتن الگوی سیگنال دریافتی در گیرنده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای این منظور عموماً در بخش سخت افزاری سیستم شنود ارتفاع پالسهای دریافتی[4] بر حسب زمان دریافت[5] به صورت رشته‌ای قابل پردازش استخراج می‌شود. در سیستمهای شناسایی الکترونیکی مجموع کلیه مقادیر مشخص کننده وضعیت پالس دریافتی به کلمه توصیف پالس[6] معروف است.

الگوی دامنه پالسهای دریافتی بر حسب زمان همواره متأثر از نحوه چرخش آنتن، شکل پرتو آنتن و پهنای پرتو آنتن می‌باشد. داده های مورد پردازش در عمل به صورت شکل ۱ می‌باشند. اگر با تقریبی هر پالس را به صورت یک ضربه نشان دهیم، با چرخش آنتن و گذر پرتو آن از نقطه شنود دامنه پالسهای دریافتی تقریباً به صورت شکل ۲ خواهد بود. در شکل ۲، τ نشان دهنده بازه زمانی عبور پرتو آنتن از نقطه شنود است. این بازه زمانی نیز ناشی از شکل فضایی پرتو آنتن است که شکل ۳ نمایش دو بعدی پرتو را نشان می‌دهد. زاویه θ در این شکل پهنای پرتو در راستای زاویه ای ترسیم شده است.

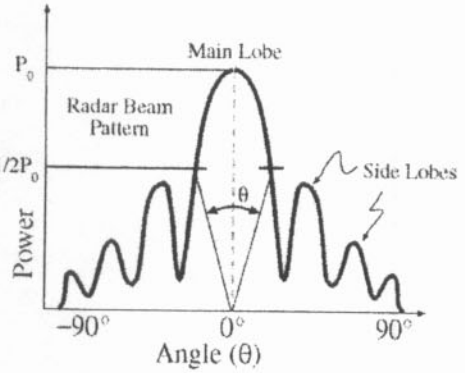


شکل۱: پالسهای مورد پردازش [۲]

[1] Genetic Algorithm
[2] SIGINT : Signal Intelligence
سیستمهای ELINT یک نوع سیستم SIGINT می‌باشند.
[3] هر چند او روشهای پردازش مورد نیاز برای شناسایی و تشخیص پارامترهای سیگنالهای راداری را بیان نکرده است.
[4] PA
[5] TOA
[6] PDW: Pulse Description Word



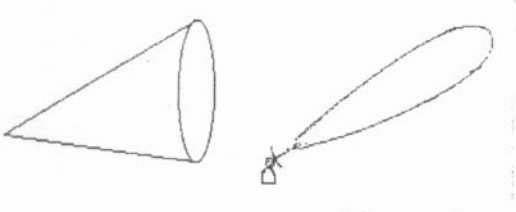
شکل ۲: الگوی پالسهای دریافتی در اثر حرکت پرتو آنتن [۲]



شکل ۳: پرتو آنتن [۱]

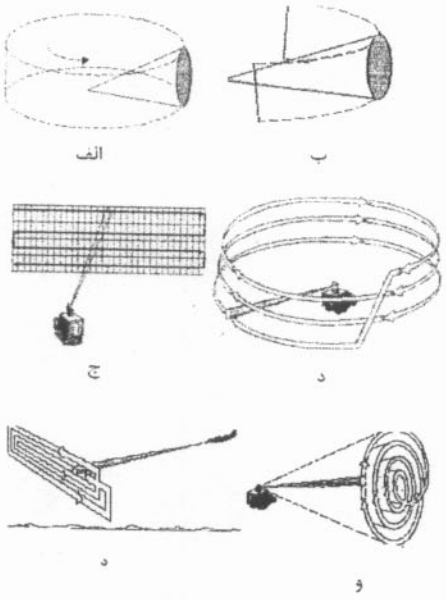
اگر هدف رادار جستجوی زمینی باشد، پهنای پرتو در راستای عمود بر زمین پهن و در راستای افقی باریک بوده تا بتواند ارتفاعهای بالاتری را هم پوشش دهد. به این نوع پرتو، پرتو بادبزنی می‌گویند. در صورتی که پرتو از هر دو سمت باریک باشد به آن پرتو مدادی می‌گویند [۲]. (شکل ۴)

چرخش آنتن به شکلهای مختلفی می‌تواند صورت گیرد. حدود ۱۵ نوع الگو برای چرخش آنتن در زمینه جستجو و ردیابی اهداف معمول است. که با نامهای دایروی، مارپیچی، قطاعی، رستر، حلزونی و... معروف هستند. در شکلهای ۵- الف الی ۵-و نمونه هایی از انواع چرخش آنتن نشان داده شده اند.



الف ب

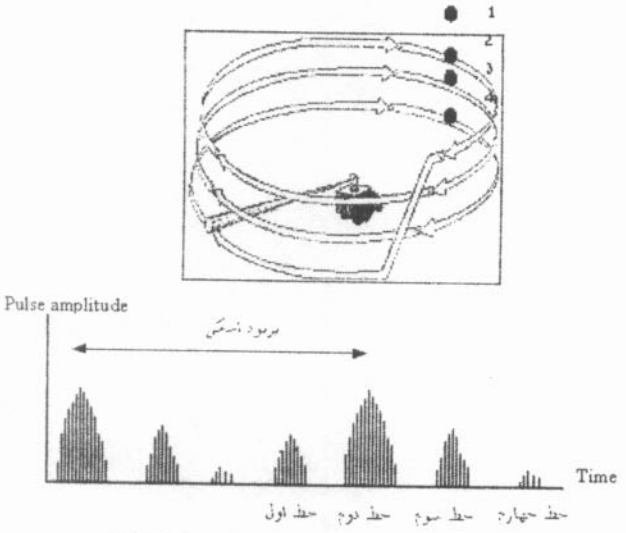
شکل ۴: الف) پرتو مدادی ب) پرتو بادبزنی [۱]



الف ب ج د ه و

شکل ۵: انواع چرخش: الف) دایروی ب) قطاعی ج) رستر د)مارپیچی ه) رستر (نوع دیگر) و) حلزونی [۲].

بر حسب قرار گیری نقطه شنود نسبت به فرستنده الگوی دامنه پالسهای دریافتی مختلف خواهد بود. برای مثال برای چرخش مارپیچی در نقاط مختلف مشابه با شکل ۶ الگوی دامنه پالسهای دریافتی تغییر می‌کند. با در نظر گرفتن مسائل مطرح شده لازم است نوع چرخش آنتن رادار در هر نقطه‌ای قابل تشخیص باشد. این مسأله در عمل به معنای تشخیص الگوی گذر پرتو آنتن از نقطه شنود است.

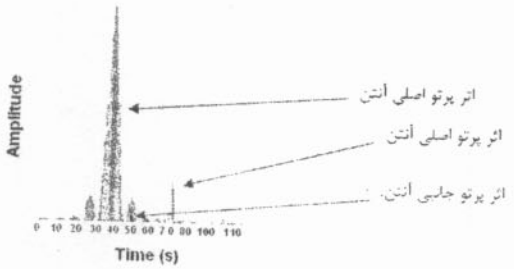


شکل ۶ سیگنال شنود شده از چرخش مارپیچی برای نقطه ۴ [۲]

۳- شبیه سازی دادهای حاصل از چرخش آنتن

به منظور تشخیص نوع چرخش آنتن و پردازش دادهها لازم است ابتدا این داده ها شبیه سازی شوند. به این منظور برنامه شبیه سازی[1] تهیه شده که با شبیه سازی حرکت آنتن داده های مورد استفاده برای پردازش را تولید می‌کند. در هر بار عبور پرتو آنتن از نقطه شنود خروجی مشابه با شکل ۷ خواهیم داشت. همانگونه که در این شکل دیده می‌شود اثر پرتوهای جانبی و پرتو اصلی آنتن بر روی دامنه پالسهای دریافتی دیده می‌شود. چون زمان دریافت سیگنال برای سیستم شنود مجهول است و ماکزیمم سطح توان سیگنال نیز در هر بار عبور پرتو نیز قابل پیش بینی نیست، امکان دارد اثر پرتو جانبی و پرتو اصلی در چرخشهایی از قبیل رستر و یا مارپیچی مشابه یکدیگر بوده و قابل تشخیص نباشد (شکل ۷). این موضوع نشان می‌دهد استفاده از سطح آستانه متغیر به علت عدم توانایی تشخیص اثر پرتوهای اصلی از پرتوهای فرعی مناسب نیست.

در عین حال چون داده های مورد تحلیل تابع پارامترهایی چون نوع پرتو، نوع چرخش آنتن، پارامترهای مربوط به هر نوع چرخش، دوره زمانی چرخش، نقطه شنود و سرعت چرخش هستند ، طبقه‌بندی سیگنالهای شنود شده بر اساس این پارامتر ها با توجه به تنوع بسیار زیاد آنها در سیستمهای راداری به سادگی توسط یک الگوریتم تشخیص الگو قابل پیاده سازی نیست.



شکل ۷: اثر پرتوهای اصلی و فرعی در سیگنال دریافتی

[1] در برنامه کاربر پارامترهایی از جمله نوع چرخش آنتن، پهنای پرتو آنتن، محل قرار گیری نقطه شنود، نوع پرتو و پارامترهای مربوط هر نوع از چرخشها را انتخاب می‌کند و داده های زمان و ارتفاع پالسهای دریافتی در نقطه شنود تولید می‌شود. این برنامه به همراه رابط گرافیکی در محیط MATLAB نوشته شده است.

تنها برای استخراج یک پارامتر از سیگنال باید چند ویژگی از سیگنال استخراج کرده و یک سیستم طبقه بندی کننده را به منظور دسته بندی سیگنالها بر اساس یکی از پارامترهای مورد نظر قرار داد. در عمل به منظور استخراج هر پارامتر باید یک پردازشگر وجود داشته باشد. این در حالی است بسیاری از پارامترها به یکدیگر وابسته اند.

۴- تشخیص نوع چرخش آنتن با استفاده از الگوریتم ژنتیک

با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعداد زیادی از پارامترهای ذکر شده در بخش قبل می‌توانند به صورت همزمان توسط الگوریتم ژنتیک جستجو شوند. قبل از توصیف روش لازم به ذکر است، ویژگیهای این روش اولاً وابسته نبودن به نحوه پیش پردازش‌های اولیه و ثانیاً عمومی‌بودن آن برای تعیین نوع چرخش آنتن، نوع پرتو، پارامترهای مربوط به آنها و بسیاری دیگر از پارامترهای سیگنال راداری است.

در اجرای الگوریتم ژنتیک دو موضوع حائز اهمیت است. اولا باید کدینگ مناسبی برای کروموزومها طراحی کرد و ثانیاً تابع برازندگی مناسب را برای رسیدن به جواب انتخاب کرد. در بخش بعد به توصیف نوع کدینگ و تابع برازندگی مورد نیاز برای حل این مساله می‌پردازیم.

۴-۱- کدینگ

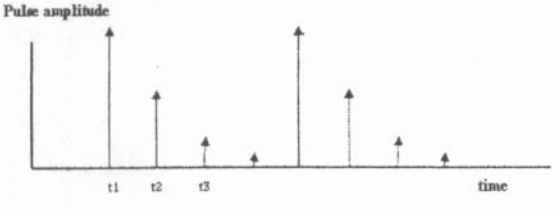
به منظور انتخاب نحوه کدینگ در الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌شود پارامترهای فرضی برای یک سیگنال راداری به عنوان اطلاعات قابل قرارگیری در کروموزومها انتخاب شوند. بر اساس این اطلاعات کد شده در کروموزوم، سیگنالی به صورت محاسباتی ساخته شده و برازندگی به عنوان مشابهت این سیگنال با سیگنال دریافتی با پارامترهای مجهول در نظر گرفته شود. میزان برازندگی میزان مشابهت این دو سیگنال را نشان می‌دهد و در صورت انطباق می‌توان پارامترهای معلوم سیگنال تولید شده در الگوریتم را به سیگنال دریافتی نسبت داد. به این ترتیب الگوریتم به صورت تصادفی نسلی از کروموزمها را تولید می‌کند و بعد از عملیاتهای برش و جهش برازندگی این نسل محاسبه شده و عملیات انتخاب صورت

گیرد. هنگامی که رادار در حال انجام عملیات جستجو به صورت سه بعدی در محدوده اطراف خود است. سیگنال شنود شده در باند پایه متأثر از نوع چرخش آنتن، سرعت چرخش، پهنای قطاع چرخش، گام‌های عمودی حرکت آنتن، تعداد گام‌های عمودی حرکت آنتن، نوع پرتو، پهنای پرتو، فرکانس تکرار پالس، پهنای پالس، نوع مدولاسیون درون پالس و مکان نقطه شنود می‌باشد. مقدار این پارامترها هر کدام دارای محدوده متعارفی است که در عمل استفاده می‌شود. در الگوریتم لازم است این مقادیر کد شده و به صورت رشته بیتی نمایش داده شوند (شکل ۷). برای مثال اگر ۸ نوع چرخش را مورد دسته بندی قرار می‌دهیم لازم است پارامتر مربوط به نوع چرخش با ۳ بیت کد شود. برای تبدیل یک عدد به رشته بیت معادل آن با طول n رابطه زیر قابل عمال است :

$$C_n[a,b] = bin_n((2^n - 1)\frac{x-a}{b-a}) \qquad (1)$$

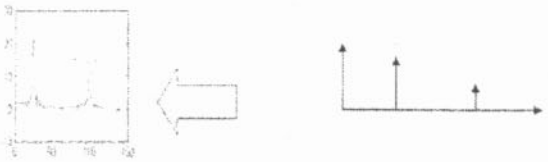
در سیستم پیاده شده طول رشته کرموزوم ایجاد شده در عمل ۶۳ بیت شده که شامل کلیه اطلاعات در مورد پارامترهای نوع چرخش، سرعت چرخش، پهنای قطاع چرخش، گامهای عمودی حرکت آنتن، تعداد گامهای عمودی حرکت آنتن و نوع پرتو می‌باشد[1].

شکل ۷: رشته کرموزوم مورد استفاده



شکل ۸: زمان عبور پرتو از نقاط شنود و توان دریافتی [۵]

[1] الگوریتم ژنتیک مورد نظر در این مقاله با استفاده از جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک در محیط MATLAB نوشته شده است.



شکل ۹: بازسازی پوش سیگنال از اطلاعات استخراج شده

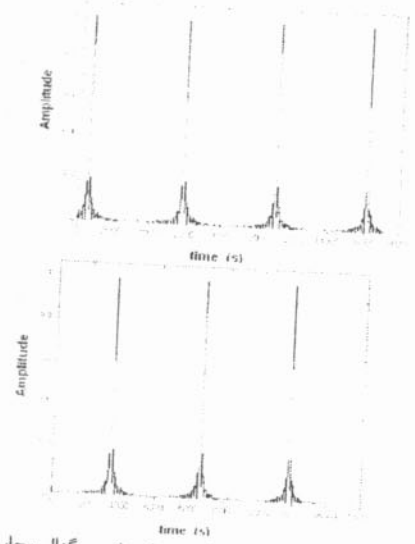
۴-۲- برازندگی

بر اساس اطلاعات کد شده در کروموزوم می‌توان لحظات عبور پرتو آنتن رادار از نقطه شنود و توان دریافتی در این لحظات را با محاسباتی استخراج کرد (شکل ۸). بعد از این مرحله باید بر اساس اطلاعات استخراج شده، پوش سیگنال باند پایه متناظر با این اطلاعات را ایجاد کرد. این سیگنال در حقیقت به نوعی بیانگر رشته ای از کلمات توصیف کننده پالس می‌باشد. برای این منظور با انجام عملیات کانولوشن بین قطار ضربه محاسبه شده و شکل زمانی اثر پرتو، سیگنالی مشابه با سیگنال دریافتی به صورت محاسباتی ایجاد می‌کنیم که در شکل ۹ نشان داده شده است. اگر سیگنال باند پایه شنود شده برابر با این سیگنال محاسباتی باشد در عمل پارامترهای مربوط به آن برابر با مقادیر کد شده در کروموزوم متناظر است. بنابراین می‌توان برازندگی را به صورت میزان همبستگی زمانی داده های مربوطه در نظر گرفت.

الگوریتم ژنتیک مورد بحث با جمعیت ۱۰۰ کروموزوم در هر نسل و انتخابگر چرخ رولت با برش تک نقطه‌ای و جهش یکنواخت در نظر گرفته شده است. ضریب برش ۰/۸ و احتمال جهش ۰/۰۱ انتخاب شده است. جمعیت از نوع رشته بیت و تعداد ۱۰۰۰ نسل لازم است تا الگوریتم به جواب مناسب همگرا شود و بعد از آن مقادیر پارامترهای سیگنال راداری قابل استخراج است. در حقیقت یک کدگشا جواب نهایی الگوریتم را که به صورت رشته بیت بوده دریافت کرده و مقدار پارامترها را از آن استخراج می‌کند. دریک نمونه پیاده شده یک سیگنال مرجع به صورت سیگنالی با پارامترهای معلوم ذخیره شده و توانایی الگوریتم ژنتیک در بدست آوردن پارامترهای آن بررسی شده است. اما همانطور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود، پوش سیگنالهای محاسباتی و شنود شده با وجود پارامترهای یکسان در وضعیتهای یکسانی ممکن است نباشند. برای مثال همواره لحظه شروع در الگوی سیگنال شنود شده مجهول است و در

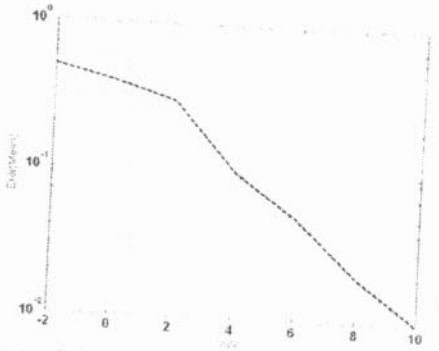
عین حال مشخص نیست چند پریود از چرخش آنتن رادار در آن ذخیره شده است. بنابراین یکی از پارامترهایی که در کرموزوم باید کد شود، تعداد پریودهای چرخش آنتن است. با روشی مبتنی بر ماکزیمم یابی می‌توان نقاط شروع سیگنالهای محاسباتی و شنود شده را یکسان کرده و آنها را از نظر توانی نیز نرمال کرد و سپس تابع برازندگی را برای آنها محاسبه کرد.

در نمونه پیاده سازی شده چهار نوع چرخش برای آنتن رادار، ۴ نوع پرتو مختلف، پهنای قطاع جستجوی متغیر بین ۱۰ تا ۱۸۰ درجه، پرشهای عمودی ۲ تا ۱۰ پرش برای پرتو آنتن و نقطه شنود بیان شده در دستگاه کروی در نظر گرفته شده اند. الگوریتم مورد نظر توانایی تشخیص صحیح پارامترهای مزبور را دارد. برای مثال الگوریتم با دریافت پوش پالسی به صورت شکل۱۱ نوع چرخش را برابر با چرخش شماره ۳ اعلام می‌کند که معرف چرخش مارپیچی است و صحیح است.



شکل ۱۰: الف) پوش سیگنال شنود شده ب) پوش سیگنال محاسبه شده

شکل ۱۱: شکل پوش سیگنال شنود شده [۵]



شکل ۱۲: متوسط خطای تشخیص بر حسب سیگنال به نویز

منحنی متوسط خطای تشخیص بر حسب سیگنال به نویز برای این روش در شکل ۱۲ آمده است و نشان می‌دهد که در حالت ایده آل این روش دارای خطای ۰/۰۱ است.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله به مسأله پردازش سیگنالهای راداری به منظور تشخیص نوع چرخش آنتن و پارامترهای جانبی پرداخته شده است. روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک به عنوان روشی نوین در حل این مساله قابلیت استخراج همزمان دسته وسیعی از پارامترهای مورد نیاز را دارد و برای عملیاتهای غیر بلادرنگ بسیار مناسب می‌باشد.

مراجع

[1] *M. L. Skolnik, Introduction to Radar Systems, 3rd Ed., McGraw Hill, Boston, 2001.*

[2] *R. G. Wiley, Electronic Intelligence: The Analysis of Radar Signal, Artech House, 1993.*

[3] *F. Nishiyama, and H. Murakami, "A blind march filter method for a wideband ground radar system," IASTED Conference on Antennas, Radar, and Wave Propagation, no. 425, Canada, 2006.*

[4] *X. D. Zhang, and W. Wei, "Blind adaptive multiuser detection based on kalman filtering," IEEE transaction on signal processing, vol. 50, no. 1, pp. 87-96, 2002.*

[5] *L. Yao, and W. S. Serhares, "Non Linear parameter estimation via the genetic algorithm" IEEE Transaction of Signal Processing, vol.42, no. 4, pp. 927-936, 1994.*