

شرط‌های یکتایی مقاوم برای رفع ابهام برد و داپلر و تعیین محدوده PRF متوسط

نوروز بهمنی^{۱*}، محمدعلی سبط^۲

۱- کارشناس ارشد ۲- استادیار، دانشکده برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(دریافت: ۹۳/۰۸/۲۲، پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۲)

چکیده

رادارهایی که از PRF متوسط استفاده می‌کنند، هر دو ابهام برد و داپلر را دارند ولی با انتخاب یک دسته PRF، می‌توان این ابهام‌ها را برطرف کرد. دو نکته مهمی که باید در آشکارسازی هدف مدنظر قرار داد، پرهیز از آشکارشدن شبه‌هدف و حداقل کردن مناطق کور است. در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب دسته PRF برای حداقل کردن مناطق کور استفاده شده است. سپس با بهره‌گیری از همین دسته و با استفاده از الگوریتم تطابقی و خوشه‌بندی نقاط آشکارشده نزدیک به هم، رفع ابهام و آشکارسازی اهداف را انجام می‌دهیم، ولی برای کاهش آشکارسازی شبه‌هدف، از الگوریتم حذف شبه‌هدف استفاده می‌کنیم. در این مقاله تعریف جدیدی از شروط یکتایی را ارائه می‌دهیم تا هنگام استفاده از خوشه‌بندی در برابر خطا مقاوم باشد. همچنین نشان می‌دهیم که محدوده PRF متوسط، وابسته به برد و داپلر ماکزیمم و اندازه سبدهای برد و داپلر است.

واژگان کلیدی

برد و داپلر مبهم، PRF متوسط، الگوریتم تطابقی، شبه‌هدف، سرعت و برد کور.

۱. مقدمه

داپلر نمی‌تواند در حین ارسال، دریافت هم داشته باشد، پس اهداف در لحظات متناظر با زمان ارسال پالس قابل آشکارسازی نیستند. به این پدیده، گرفتگی گفته می‌شود [۲].

برای غلبه بر اثرات کلاتر و پدیده گرفتگی، استفاده از چند PRF کارساز است، چون برد و داپلری که در یک PRF کور هستند ممکن است در PRF دیگر کور نباشند. از این خاصیت برای برطرف کردن ابهام یا کوری برد و داپلر استفاده می‌شود. بنابراین یکی از مسائل اصلی، انتخاب دسته PRF ایست که علاوه بر این که مناطق کور کمتری نسبت به دسته‌های دیگر ایجاد می‌کند، هنگام آشکارسازی شبه‌هدف‌های کمتری را نیز تولید کند. روش‌های مختلفی برای انتخاب دسته PRF وجود دارد. در [۱] یک جستجوی سراسری از بین همه PRF‌های ممکن، با توجه به محدودیت‌های مدل رادار که در [۳] آورده شده، انجام شده است. یکی از قدیمی‌ترین روش‌ها، روش انتخاب PRF اصلی و کمکی^۴ است [۴]. یک روش دیگر هم

در آشکارسازی اهداف، دو مسئله اساسی را باید مد نظر قرار داد. نکته اول این‌که، حالتی که ممکن است هدف آشکار نشود را به حداقل رساند و نکته دیگر این‌که شبه‌هدف^۱های کمتری آشکار شوند. در عمل، رادارها برای آشکارسازی هدف، به جز نویز با کلاتر^۲ نیز مواجه می‌شوند. بیم اصلی^۳ آنتن رادار بازگشتی‌های ناخواسته‌ای با توان زیاد از کلاترها را دریافت می‌کند که ممکن است مانع از آشکارسازی هدف شوند. مزیت رادار پالس داپلر این است که چون بیم اصلی طیف کلاتر حول یک فرکانس متمرکز است، می‌شود آن را حذف کرد. ولی عیب این کار این است که اهدافی که داپلر آن حول داپلر حذف‌شده است نیز ممکن است حذف شوند. بنابراین این داپلرها به‌عنوان داپلر کور در نظر گرفته می‌شوند [۱]. یک رادار پالس

*رایانامه نویسنده پاسخگو: Norouz.bahmani@ee.kntu.ac.ir

¹ Ghost target

² Clutter

³ Main lobe

⁴ Main lobe

الگوریتم حذف شبه‌هدف توضیح داده می‌شود و سپس در ادامه این بخش نحوه مقاوم کردن شروط یکتایی در برابر خطا بررسی شد. در پایان این مقاله هم روشی ارائه شده که نشان می‌دهد محدوده PRF متوسط وابسته به برد و داپلر ماکزیمم و اندازه سبدهای برد و داپلر است.

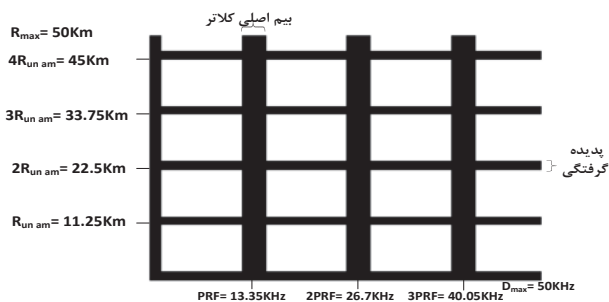
۲. معیارهای انتخاب دسته PRF

برای این که بتوان دسته PRFهای مختلف که از چند PRF استفاده می‌کنند را با هم مقایسه کرد، باید معیاری وجود داشته باشد که با این معیار بتوان دسته‌ها را با هم مقایسه کرد. برای مقایسه روش‌های مختلف از نظر کوری اهداف، از نقشه محدوده کور^۳ استفاده می‌شود که با آن می‌توان تعداد سلول‌های برد و داپلر کور را محاسبه کرد. برای مقایسه از نظر آشکار شدن شبه‌هدف، با روش‌های مختلف، عملیات آشکار سازی را برای موقعیت‌های مختلف آزمایش کرده تا مشخص شود کدام دسته، شبه‌هدف‌های کمتری را آشکار خواهد کرد.

۲-۱. حداقل شدن محدوده کور

در یک رادار تک‌پایه^۴ رادار نمی‌تواند در حین ارسال، دریافت داشته باشد، بنابراین اگر سیگنال برگشتی هدف، هم‌زمان با ارسال پالس که هنوز گیرنده خاموش است، به رادار برسد، نمی‌تواند وارد گیرنده شده و هدف آشکار نمی‌شود که به این پدیده، گرفتگی گفته می‌شود [۲].

عامل دیگری که مانع آشکار سازی درست هدف می‌شود برگشتی‌هایی است که منبع آن کلاتر است. اهدافی که داپلر آن‌ها در محدوده بیم اصلی طیف کلاتر و مضارب صحیح آن هستند آشکار نمی‌شوند و کور فرض می‌شوند [۲-۱]. این دو پدیده را می‌توان در یک شکل^۲ بعدی که با عنوان نقشه محدوده کور شناخته می‌شود نمایش داد. در شکل ۱ نقشه محدوده کور برای $PRI=33\mu s$ رسم شده است. مناطقی که با رنگ سیاه مشخص شده‌اند بیان‌گر مناطق کور هستند.



شکل ۱. نمایش نقشه کوری برای $PRI = 33\mu s$

روش انتخاب دسته PRF با معیار M از N است. یعنی این که در یک دسته PRF، N تایی، حداقل در M تا از این PRFها هدف باید قابل آشکار سازی باشد. از جمله روش‌هایی که اساس آن معیار M از N است، روشی است که از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب دسته PRF استفاده می‌کند. با کمک گرفتن از این الگوریتم، روشی ارائه شد که نسبت به جستجوی کلی به زمان کمتری نیاز دارد. ساختار این الگوریتم به گونه‌ای است که کمتر در نقاط بهینه محلی متوقف شود و احتمال این که به یک جواب بهینه کلی برسد زیاد است [۶-۵]. در [۷]، برای اولین بار از این الگوریتم استفاده شد ولی در این کار اشاره‌ای به شروط تضمین‌کننده یکتایی جواب نشد. سپس در [۸-۱۰] شروطی که یکتایی جواب را در محدوده مورد بررسی تضمین می‌کنند نیز در نظر گرفته شده است. در این مقاله نیز از همین الگوریتم برای انتخاب دسته PRF استفاده می‌کنیم. بعد از انتخاب دسته PRF فرآیند آشکار سازی هدف را انجام می‌دهیم. یکی از روش‌های قدیمی استفاده از نظریه باقیمانده چینی^۱ است [۱۲-۱۱]. از مشکلات می‌توان به عدم کارایی مناسب در حضور چند هدف و محدودیت اول بودن PRIها نسبت اشاره کرد. مشکل دیگر این روش این است که اگر مثلاً برد مبهمی که تخمین زده می‌شود دارای خطای باشد، برد بدون ابهامی که با این روش تخمین زده می‌شود با خطای فراوانی همراه است. روش دیگر الگوریتم تطابقی^۲ است که در فضای دوبعدی، به ورت هم‌زمان ابهام برد و داپلر را برطرف می‌کند [۴]. چون در فرآیند بهینه‌سازی از معیار M از N استفاده شد در اینجا هم از این معیار استفاده می‌شود. از آنجایی که ممکن است برد و داپلر مبهم تخمین زده شده با خطا مواجه باشند از خوشه‌بندی نقاط بالقوه نزدیک به هم برای آشکار سازی استفاده شده است به این صورت که اگر تعداد نقاط آشکار سازی که درون یک خوشه قرار می‌گیرند برابر یا بزرگ‌تر از M باشند آن خوشه به عنوان مکان هدف در نظر گرفته می‌شود [۱۰-۹]. در [۹-۱۰] از تعریف کوچک‌ترین مضرب مشترک PRIها و PRFها برای تضمین یکتایی آشکار سازی یک هدف در محدوده برد و داپلر قابل آشکار سازی استفاده می‌شود، ولی چون از خوشه‌بندی استفاده می‌شود، استفاده از این تعریف در بعضی از موارد شرط یکتایی را تضمین نمی‌کند. در این مقاله تعریف جدیدی از کوچک‌ترین مضرب مشترک که در واقع مقاوم کردن این شرط در برابر خطا است را معرفی می‌کنیم که یکتایی جواب در محدوده مورد نظر را با وجود خوشه‌بندی هم تضمین می‌کند. سپس کدبرداری PRIها را بر اساس این شروط مقاوم شده انجام داده تا بتوانیم دسته PRF بهینه را به دست آوریم.

در بخش ۲ معیارهایی که برای مقایسه دسته PRFها استفاده می‌شود و در بخش ۳ نیز محدودیت‌هایی که در انتخاب این دسته‌ها وجود دارد آورده شده است. در بخش ۴ ابتدا الگوریتم تطابقی و

³ Blind zone map

⁴ Monostatic

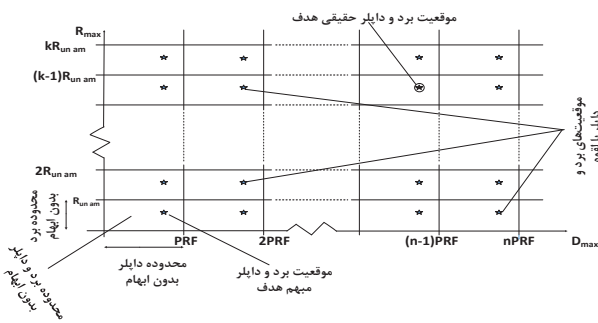
¹ Chinese remainder theorem

² Coincident algorithm

آشکارسازی را به‌طور هم‌زمان در دو بعد برد و داپلر انجام می‌دهد.

۴-۱. الگوریتم تطابقی

در این روش، یک شبکه^۲ از نقاط آشکارسازی بالقوه، مربوط به برد و داپلر مبهم اهداف در فضای دو بعدی برد و داپلر در نظر گرفته می‌شود. منظور از نقاط آشکارسازی بالقوه، تمامی نقاط موجود در فضای برد و داپلر ماکزیمم است که برد و داپلر مبهم مشابهی با برد و داپلر مبهم هدف داده شده دارند. اصطلاحاتی که در توضیحات مربوط به تشکیل شبکه الگوریتم تطابقی مورد نیاز است در شکل ۲ مشخص شده‌اند.



شکل ۲. نمونه‌ای از شبکه الگوریتم تطابقی برای یک PRF

نحوه تشکیل این شبکه دو بعدی به این‌صورت است که ابتدا موقعیت برد و داپلر مبهم تخمین زده شده اهداف را در محدوده برد و داپلر بدون ابهام مشخص کرده و سپس این محدوده مشخص شده را با مضارب صحیح R_{unamb} و PRF در محورهای برد و داپلر تکرار کرده تا تمام موقعیت‌هایی که برد و داپلر مبهم متناظر با آن‌ها می‌تواند این برد و داپلر مبهم تخمین زده شده باشند مشخص شود. برای آشکارسازی اهداف در هنگام استفاده از چند PRF مختلف، باید برای هر PRF یک شبکه در نظر گرفت و سپس این شبکه‌ها را با هم تطبیق داد. شبکه‌ها در برد و داپلر حقیقی اهداف بر روی هم منطبق می‌شوند [۴]. خطاهای اندازه‌گیری ممکن است موجب شود که مختصات نقاط آشکارسازی بر روی هم منطبق نشوند، بنابراین برای آشکارسازی از خوشه‌بندی نقاط آشکارسازی بالقوه استفاده می‌شود [۱۰]. این روش نسبت به روش نظریه باقیمانده چینی حساسیت خیلی کمتری به خطاهای اندازه‌گیری دارد و همچنین در حضور چندین هدف نیز عملکرد بهتری دارد و محدودیت اول بودن ترکیب R_{unamb} ‌ها نسبت به هم را نیز ندارد.

۴-۲. الگوریتم حذف شبه‌هدف

در هنگام استفاده از الگوریتم تطابقی هرچه تعداد اهداف زیاد

۲-۲. حداقل شدن تعداد شبه‌هدف

شبه‌هدف‌ها بر اثر همبستگی بازگشتی‌های مبهم از یک هدف با بازگشتی‌های مبهم از اهداف دیگر، یا یک نویز ایجاد می‌شود. یکی دیگر از معیارهای انتخاب M و N در آشکارسازی باینری این است که شبه‌هدف‌های کمتری آشکار شوند.

۳. محدودیت‌های انتخاب PRF

برای انتخاب دسته PRF محدودیت‌هایی وجود دارد که در زیر بیان می‌کنیم:

همان‌طور که از نقشه محدوده کور مشخص است بیم اصلی طیف کلاتر در مضارب صحیح PRF تکرار می‌شود. کوچک‌ترین مقدار PRF باید طوری انتخاب شود که این بیم‌های اصلی طیف کلاتر باهم تداخل نداشته باشند. بنابراین اگر عرض بیم اصلی طیف کلاتر ΔF شود، حداقل مقدار PRF باید از ΔF بزرگ‌تر باشد [۱]. محدودیت دیگری که در انتخاب PRI وجود دارد برآورده شدن دو شرط (۱) و (۲) است [۸-۱۰].

$$LCM(R_{unamb1}, R_{unamb1}) > R_{max} \quad (1)$$

$$LCM(PRF_1, PRF_M) > D_{max} \quad (2)$$

بزرگ‌ترین PRI با $M=1$ ، رابطه (۱) را برآورده می‌کند اما رابطه (۲) را نمی‌تواند برآورده کند و کوچک‌ترین PRI با $M=1$ ، رابطه (۲) را برآورده می‌کند ولی در عوض قادر به برآورده کردن رابطه (۱) نیست. برای مقادیر متوسط PRF در حالت کلی $M=1$ ، نمی‌تواند هر دو شرط (۱) و (۲) را برآورده کند. بنابراین $M > 1$ مورد نیاز است [۱۰].

۴. استخراج برد و داپلر

یکی از روش‌های قدیمی استخراج برد و داپلر حقیقی اهداف استفاده از نظریه باقیمانده چینی است. در این روش از رابطه همنهشتی^۱ برای بدست آوردن برد حقیقی هدف استفاده می‌شود. از مشکلات این روش این است که خیلی به خطاهای اندازه‌گیری حساس است و با تغییر کوچکی در مقادیر، با خطای زیادی در اندازه‌گیری برد و داپلر حقیقی اهداف مواجه می‌شویم. یکی از شروط اصلی نظریه باقیمانده چینی این است که پیمانها باید نسبت به هم اول باشند و همچنین در حضور چندین هدف عملکرد مناسبی ندارد. پس تمام ترکیب‌های M تایی از R_{unamb} ‌های دسته مورد نظر باید نسبت به هم اول باشند که این شرط به شدت انتخاب PRI را با محدودیت مواجه می‌کند.

یکی دیگر از روش‌های آشکارسازی الگوریتم تطابقی است که

¹ lattice

¹ congruence

گسترش می‌دهیم. این کار را برای تمام PRI‌های دسته PRF انتخابی انجام می‌دهیم.

(۲) سپس هر خوشه‌ای که تعداد نقاط آشکارسازی درون آن بزرگ‌تر یا مساوی N باشد را به‌عنوان هدف اصلی در نظر می‌گیریم.

(۳) در این مرحله دوباره برد و داپلر مبهم تخمین‌زده شده اهداف را برای هر PRI در محدوده برد و داپلر بدون ابهام مشخص می‌کنیم. ولی تفاوتی که این مرحله با مرحله ۱ دارد این است که در اینجا برد و داپلر مبهم مربوط به اهداف اصلی را که در مرحله ۲ آشکار شده‌اند را حذف می‌کنیم. ولی از آنجا که ممکن است آشکارسازی کمی با خطا مواجه باشد، خوشه مربوط به برد و داپلر مبهم اهداف آشکار شده را در محدوده برد و داپلر بدون ابهام حذف می‌کنیم. منظور از حذف این است که درایه‌های مربوط به خوشه برد و داپلر مبهم این اهداف را در ماتریس الگوریتم تطابقی برابر صفر قرار می‌دهیم.

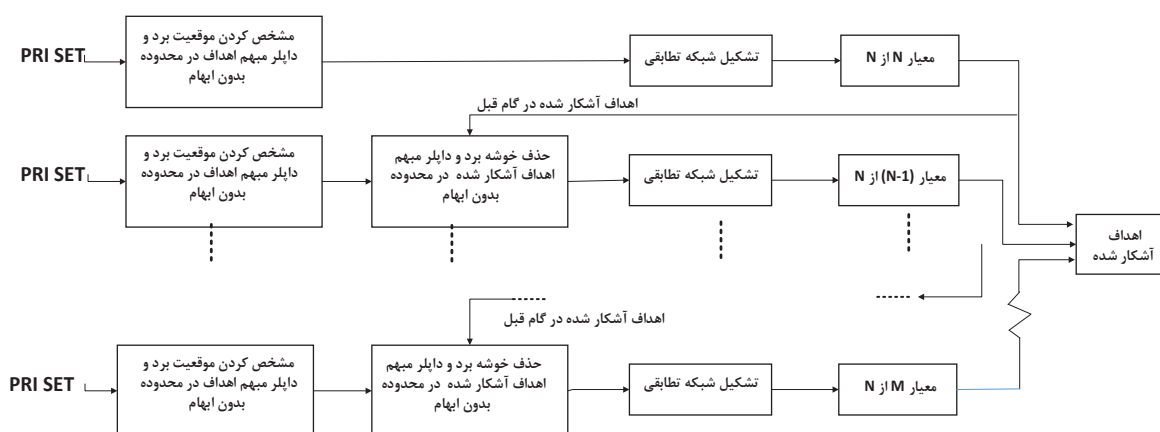
(۴) در این مرحله سطح آستانه $N-1$ در نظر گرفته می‌شود و هر خوشه‌ای که تعداد نقاط آشکارسازی درون آن بزرگ‌تر یا مساوی $N-1$ بود را به‌عنوان هدف اصلی در نظر می‌گیریم.

(۵) به همین ترتیب مرحله‌های ۱ تا ۴ را تا وقتی که سطح آستانه برابر M شود ادامه می‌دهیم. در این مرحله از کار، الگوریتم پایان یافته و اهداف آشکار شده را به‌عنوان اهداف اصلی در نظر می‌گیریم.

۴-۳. مقاوم‌کردن شروط یکتایی در هنگام استفاده از

خوشه‌بندی در الگوریتم تطابقی

همانطور که گفته شد در الگوریتم تطابقی برای آشکارسازی از خوشه‌بندی استفاده می‌شود. در این مقاله خوشه یک ماتریس 3×3 با مرکزیت سلول مورد نظر در نظر گرفتیم، یعنی $1 \pm$ سید حول سید



شکل ۳. مراحل انجام الگوریتم حذف شبه‌هدف

می‌شود همبستگی متقابل بین اهداف زیاد می‌شود بنابراین تعداد شبه‌هدف بسیار زیاد می‌شود. برای کاهش آشکارسازی شبه‌هدف نیاز به الگوریتم کمکی دیگری است تا بتوان تعداد شبه‌هدف^۱ را کاهش داد. زمانی که از این الگوریتم استفاده نمی‌شود، برای برنامه‌های M از N ، سطح آستانه برابر M در نظر گرفته می‌شود و خوشه‌هایی که تعداد نقاط بالقوه درون آن حداقل M بود به‌عنوان هدف آشکار می‌شد ولی در این روش حذف شبه‌هدف از چندین مرحله برای آشکارسازی استفاده می‌شود به این صورت که در مرحله اول سطح آستانه برابر N در نظر گرفته می‌شود و در مرحله بعد سطح آستانه $N-1$ در نظر گرفته می‌شود و مرحله به مرحله مقدار سطح آستانه کم می‌شود تا خوشه‌های مربوط به اهدافی که در بعضی از PRF‌ها کور بودند و تعداد نقاط آشکارسازی بالقوه خوشه مربوط به آن‌ها کم است نیز آشکار شوند. از آنجایی که حداقل تعداد نقاط بالقوه مورد نیاز برای آشکارسازی M است، الگوریتم تا وقتی که سطح آستانه برابر M شود ادامه می‌یابد. در ادامه به صورت مرحله به مرحله مراحل این الگوریتم به‌طور کامل‌تری توضیح داده می‌شود. ایده اصلی این الگوریتم در [۱۳] آورده شده است ولی در آن مقاله صحبتی از خوشه‌بندی نشده است. ما در این مقاله از همان ایده کمک گرفته ولی از خوشه‌بندی استفاده می‌کنیم تا الگوریتم در برابر خطا نیز مقاوم باشد. البته در [۱۰] نیز از روشی تقریباً مشابه این الگوریتم استفاده شده ولی در آن مقاله سبب خوشه‌ها را متغیر در نظر گرفته و اندکی نیز با الگوریتمی که در این مقاله استفاده شده متفاوت است. در شبیه‌سازی‌های ما اندازه خوشه‌ها ثابت فرض شده است.

مراحل حذف شبه‌هدف به صورت مرحله به مرحله در زیر آورده شده است.

(۱) ابتدا برد و داپلر مبهم تخمین زده شده اهداف مختلف را مانند شکل ۲ برای هر PRI در محدوده برد و داپلر بدون ابهام مشخص کرده و سپس آن را تا برد و داپلر ماکزیمم تکرار کرده و

¹ Deghosting

تعبیری C را LCM_{Δ} دو عدد a و b در نظر می‌گیریم که، باقیمانده تقسیم C یا $C+\Delta$ بر a و هم بر b کوچک‌تر از Δ باشد. پس شروط (۱) و (۲) به این صورت اصلاح می‌شوند:

$$LCM_{\Delta}(R_{unam1}, \dots, R_{unam1}) > R_{max} \quad (۳)$$

$$LCM_{\Delta}(PRF_1, \dots, PRF_M) > D_{max} \quad (۴)$$

با این تعریف اولین خوشه‌ای که بعد از هدف اصلی ممکن است به عنوان موقعیت هدفی آشکار شود بعد از برد و داپلر ماکزیمم اتفاق می‌افتد. حال می‌خواهیم مانند مثال‌های قبلی چک کنیم که آیا با این کار توانستیم شرط یکتایی را برآورده کنیم یا نه؟؟

دو PRI بالا شرط (۴) را برآورده می‌کنند ولی قادر به برآورده کردن شرط (۳) نیستند. به همین دلیل است که شبه‌هدف‌ها، داپلری مشابه با هدف اصلی ولی بردی متفاوت با هدف اصلی دارند.

$$LCM_{\Delta}(393, 459) = 60129 > 1000$$

$$LCM_{\Delta}(153, 131) = 918 < 1000$$

پس باید دو PRI دیگری انتخاب کنیم که شروط (۳) و (۴) را برآورده کنند. با جستجو دو PRI را به این صورت انتخاب می‌کنیم:

$$LCM_{\Delta}(417, 573) = 79647 > 1000$$

$$LCM_{\Delta}(144, 105) = 5040 < 1000$$

$$NR_{am1} = 394, \quad ND_{am1} = 23$$

$$NR_{am2} = 238, \quad ND_{am2} = 23$$

$$NR_1 = 394 \quad 811 \quad ND_1 = 23 \quad 167 \quad 311 \quad 455 \quad 599 \quad 743$$

$$NR_2 = 238 \quad 811 \quad ND_2 = 23 \quad 128 \quad 233 \quad 338 \quad 443 \quad 548 \quad 653 \quad 758 \quad 863 \quad 968$$

مشاهده می‌شود به جز هدف اصلی هدف دیگری آشکار نمی‌شود. به این ترتیب در حالتی که با خوشه‌بندی فرآیند آشکارسازی انجام می‌شود، با این تعریف جدید LCM، می‌شود یکتایی جواب را در محدوده مورد نظر تضمین کرد.

برد مورد نظر و ± 1 سبب حول سبب داپلر مورد نظر. مشکل استفاده از خوشه‌بندی آشکار شدن اهداف اضافی است که با یکتایی جواب در محدوده مورد نظر تناقض دارد. برای درک بیشتر با ذکر یک مثال این مشکل را تشریح می‌کنیم. فرض می‌کنیم هدفی دارای برد $R=40.55\text{km}$ و داپلر $D=1.1\text{KHZ}$ باشد و PRI‌های انتخاب شده نیز برابر $PRI_1 = 131\mu\text{s}$ و $PRI_1 = 153\mu\text{s}$ باشند که در روابط (۱) و (۲) صدق می‌کنند. دقت تفکیک در برد و داپلر (عرض سبب برد و داپلر) نیز به ترتیب 50m و 50Hz فرض می‌شود.

شماره سبدهای برد مبهم (NR_{am}) و سبدهای داپلر مبهم (ND_{am}) هدف نیز بر اساس این دو PRI به این صورت می‌شود:

$$NR_{am1} = 26, \quad ND_{am1} = 23$$

$$NR_{am2} = 352, \quad ND_{am2} = 23$$

اگر مقادیر مبهم را محدوده مورد بررسی با مضارب شماره سبب برد و داپلر بدون ابهام به ترتیب در دو حوزه برد و داپلر گسترش دهیم داریم:

$$NR_1 = 26 \quad 419 \quad 812 \quad ND_1 = 23 \quad 176 \quad 329 \quad 482 \quad 635 \quad 788 \quad 941$$

$$NR_2 = 353 \quad 812 \quad ND_2 = 23 \quad 154 \quad 285 \quad 416 \quad 547 \quad 678 \quad 809 \quad 940$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود علاوه بر هدف اصلی، هدف دیگری نیز با شماره سبب برد $NR = 812$ ($R=40.55$) و $ND = 940$ (46.95) نیز به اشتباه آشکار می‌شود چون سبدهای ۹۴۱ و ۹۴۰ در یک خوشه قرار می‌گیرند که با یکتا بودن جواب تناقض دارد. از آنجایی که خوشه‌بندی موجب عدم یکتایی جواب می‌شود پس در هنگام استفاده از خوشه نیاز به تعریف جدیدی از LCM داریم.

۳-۳-۴. ۱- تعریف جدید

در ادامه این مقاله، LCM را به این صورت تعریف می‌کنیم و اسم این LCM را LCM_{Δ} می‌گذاریم.

کوچک‌ترین عددی که فاصله آن با حداقل یکی از مضارب صحیح هر یک از دو عدد، از عرض خوشه (Δ) کمتر باشد. یا به

جدول ۱. شماره سبب برد و داپلر بدون ابهام برای دو $PRI_1 = 131 \mu\text{s}$ و $PRI_2 = 153 \mu\text{s}$

مقدار PRI	مقدار برد بدون ابهام	شماره سبب برد بدون ابهام	مقدار PRF	شماره سبب داپلر بدون ابهام
$PRI_1 = 131 \mu\text{s}$	$R_{unam1} = 19.65 \text{ km}$	393	$PRF_1 = 7.65 \text{ KHz}$	153
$PRI_2 = 153 \mu\text{s}$	$R_{unam2} = 22.95 \text{ km}$	459	$PRF_2 = 6.55 \text{ KHz}$	131

جدول ۲. شماره سبب برد و داپلر بدون ابهام برای دو $PRI_1 = 139 \mu\text{s}$ و $PRI_2 = 191 \mu\text{s}$

مقدار PRI	مقدار برد بدون ابهام	شماره سبب برد بدون ابهام	مقدار PRF	شماره سبب داپلر بدون ابهام
$PRI_1 = 139 \mu\text{s}$	$R_{unam1} = 20.85 \text{ km}$	417	$PRF_1 = 7.2 \text{ KHz}$	144
$PRI_2 = 191 \mu\text{s}$	$R_{unam2} = 28.65 \text{ km}$	573	$PRF_2 = 5.25 \text{ KHz}$	105

۴. شبیه‌سازی

جدول ۳. پارامترهای مدل رادار و کلاتر استفاده‌شده در شبیه‌سازی

فرکانس حامل رادار	۱۰ GHz
محدوده انتخاب PRI	[۳۳ μs - ۳۳۳ μs]
دقت نمونه برداری مقادیر PRI	۱ μs
چرخه کار (درصد عرض پالس نسبت به PRI)	۲۰%
دقت تفکیک برد (R_{bin})	۵۰m
دقت تفکیک داپلر (D_{bin})	۵۰ Hz
عرض بیم اصلی طیف کلاتر	۱ KHz (± ۰.۵ KHz)
حداکثر تعداد سبب داپلر ممکن هدف (ND_{max})	۱۰۰۰
حداکثر تعداد سبب برد ممکن هدف (NR_{max})	۱۰۰۰

نمودار مربوط به درصد آشکار شدن شبه‌هدف و در شکل ۵ نمودار مربوط به درصد اهداف کور را پس از ۱۰۰۰ بار اجرای الگوریتم تطابقی برای هر کدام از برنامه‌ها را مشاهده می‌کنیم. همان‌طور که شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار N ، احتمال ایجاد شبه‌هدف‌ها افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال در حالت ۲ هدفه، اگر $N = ۴$ باشد $۲^۲$ همبستگی متقابل بین اهداف اتفاق در حالی که برای $N = ۶$ ، $۲^۶$ همبستگی متقابل اتفاق می‌افتد. همچنین با افزایش M نیز احتمال ایجاد شبه‌هدف کاهش می‌یابد، چون در برنامه ۳ از N حتما باید حداقل سه نقطه بالقوه در یک خوشه قرار بگیرند تا به‌عنوان هدف شناسایی شوند، درحالی‌که در برنامه ۲ از N فقط کافیست ۲ نقطه بالقوه درون یک خوشه قرار بگیرند، که مسلماً امکان این اتفاق بیشتر است. طبق آنچه که از نتایج بخش ۴-۱

۴-۱. به‌دست آوردن دسته PRF

در این قسمت ابتدا با استفاده از الگوریتم ژنتیک دسته PRI را برای هر یک از برنامه‌های ۲ از N و ۳ از N به‌دست می‌آوریم ولی انتخاب PRI را یک بار با استفاده از شروط (۱) و (۲) و بار دیگر با استفاده از شروط (۳) و (۴) انجام می‌دهیم تا مقایسه کنیم که آیا این شروط یکتایی مقاوم شده تغییر محسوسی در درصد سلول‌های کور ایجاد می‌کنند یا نه. با توجه به جدول ۴ و جدول ۵ مشخص می‌شود که این شروط مقاوم‌شده، باعث تغییر زیادی در تعداد و درصد سلول‌های کور نشده است و حتی در بعضی از موارد باعث کاهش تعداد و درصد سلول‌های کور نیز شده است. بنابراین می‌توان گفت که بدون نگرانی از افزایش درصد سلول‌های کور می‌توانیم از این شروط یکتایی جدید استفاده کنیم. همچنین با افزایش مقدار N درصد سلول‌های کور کاهش می‌یابد، چون سلولی کور در نظر گرفته می‌شود که در حداقل $N-M+1$ عدد PRF کور باشد. افزایش مقدار M که همان سطح آستانه می‌باشد نیز افزایش درصد سلول کور را در پی دارد چون افزایش M باعث افزایش سطح آستانه می‌شود.

۴-۲. استخراج برد و داپلر هدف در محیط چند هدفی

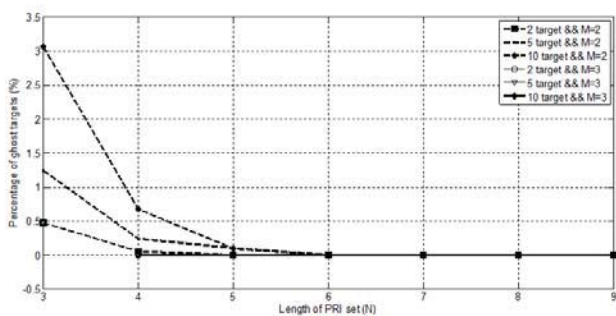
در این قسمت الگوریتم تطابقی را برای حالتی که ۲، ۵ و ۱۰ هدف در فضای مورد بررسی وجود دارد انجام می‌دهیم. در شکل ۴

جدول ۴. درصد سلول‌های کور برای برنامه‌های ۲ از N هنگام استفاده از شروط یکتایی LCM و LCM_A

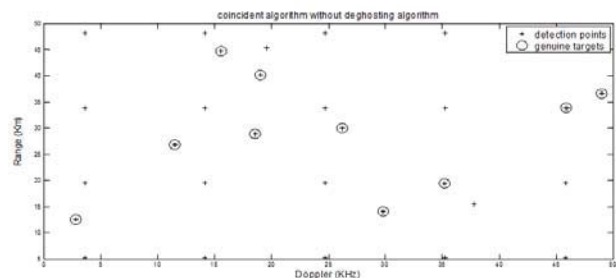
N از ۲	دسته PRI (μs) با شروط LCM	درصد سلول‌های کور		دسته PRI (μs) با شروط LCM_A
		با شروط LCM	با شروط LCM_A	
۳ از ۲	۶۹.۵۹.۴۲	٪۹/۲۳	٪۹/۶۸	۸۵.۱۱۰.۶۸
۴ از ۲	۵۵.۹۴.۶۷.۷۷	٪۱/۳۴	٪۱/۳۴	۶۸.۸۵.۱۱۶.۹۶
۵ از ۲	۸۲.۲۰۴.۱۳۱.۱۱۳.۹۷	٪۰/۳۴	٪۰/۲۲	۳۶.۱۶۷.۷۶.۹۵.۱۲۳
۶ از ۲	۲۲۸.۶۹.۶۴.۱۰۰.۷۸.۱۱۱	٪۰/۱۵	٪۰	۴۳.۶۷.۱۹۹.۵۹.۵۲.۴۶
۷ از ۲	۱۶۰.۹۱.۱۳۱.۷۵.۱۶۷.۱۰۱.۱۲۰	٪۰	٪۰	۵۵.۱۸۲.۱۷۷.۱۱۹.۹۷.۱۱۲.۸۷
۸ از ۲	۱۴۱.۱۲۱.۱۸۵.۵۴.۱۹۵.۱۳۱.۸۸.۱۱۵	٪۰	٪۰	۸۰.۱۳۱.۱۷۸.۱۵۰.۹۲.۱۶۵.۵۷.۱۰۸
۹ از ۲	۱۹۳.۲۱.۴۴.۱۶۵.۵۶.۴۱.۱۲۷.۸۹.۲۹۴	٪۰	٪۰	۱۲۱.۱۵۹.۱۷۷.۱۵۷.۱۰۳.۱۳۴.۷۵.۱۳۹.۱۱۶

جدول ۵. درصد سلول‌های کور برای برنامه‌های ۲ از N هنگام استفاده از شروط یکتایی LCM و LCM_A

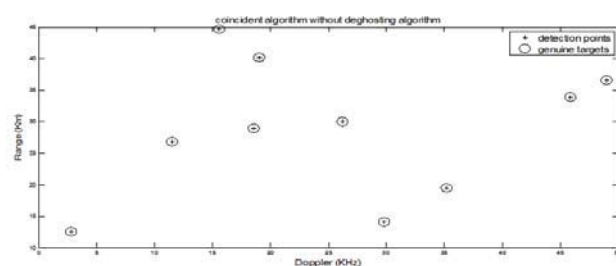
N از ۳	دسته PRI (μs) با شروط LCM	درصد سلول‌های کور		دسته PRI (μs) با شروط LCM_A
		با شروط LCM	با شروط LCM_A	
۴ از ۳	۷۰.۳۲.۸۸.۵۸	٪۱۸/۲۸	٪۲۲/۳۷	۴۹.۷۱.۶۰.۸۲
۵ از ۳	۱۲۸.۱۱۰.۹۲.۵۰.۷۸	٪۳/۰۱	٪۵/۹۸	۵۱.۵۸.۱۲۸.۷۸.۹۰
۶ از ۳	۱۱۸.۵۵.۱۳۵.۸۷.۷۵.۳۶	٪۰	٪۰/۳۷	۱۰۰.۷۲.۱۱۵.۷۹.۱۲۹.۹۱
۷ از ۳	۶۰.۸۶.۵۵.۱۰۸.۶۹.۴۸.۹۹	٪۰	٪۰/۱۶	۹۰.۸۴.۶۹.۱۰۲.۸۰.۱۱۹.۶۵
۸ از ۳	۵۵.۷۳.۱۰۲.۱۱۵.۹۱.۱۲۵.۱۳۳	٪۰	٪۰/۰۷	۱۲۰.۱۰۲.۱۸۶.۱۳۷.۸۷.۸۴.۱۵۳.۱۱۲
۹ از ۳	۹۱.۲۰۳.۶۶.۵۳.۱۲۳.۹۲.۹۹.۱۱۶.۷۷	٪۰	٪۰/۰۲	۵۹.۱۱۱.۱۳۶.۱۵۳.۱۲۷.۴۰.۱۶۰.۱۸۶.۸۸



شکل ۶. درصد ایجاد شبه‌هدف هنگام استفاده از الگوریتم حذف شبه‌هدف



شکل ۷. آشکارسازی برای ۱۰ هدف در برنامه ۲ از ۵ بدون الگوریتم حذف شبه‌هدف

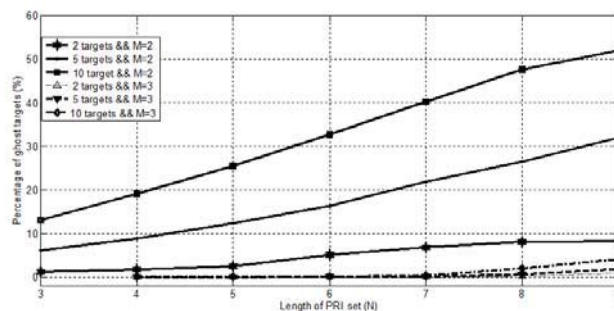


شکل ۸. آشکارسازی برای ۱۰ هدف در برنامه ۲ از ۵ همراه با الگوریتم حذف شبه‌هدف

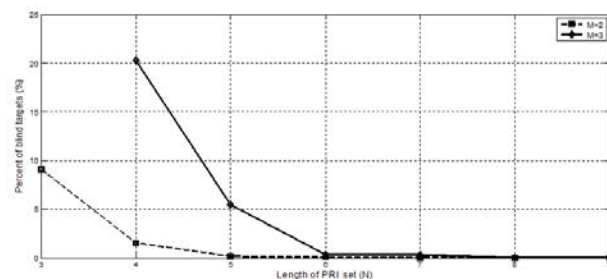
۳-۴. انتخاب M و N مناسب

در این مقاله ما دسته PRF‌هایی که درصد سلول‌های کور آن‌ها زیر ۱٪ و همچنین درصد ایجاد شبه‌هدف برای آن برنامه نیز زیر ۱٪ است را به‌عنوان دسته‌های قابل قبول انتخاب می‌کنیم. از بین برنامه‌های ۲ از ۵، $N \geq 5$ و از بین برنامه‌های ۳ از ۵، $N \geq 6$ قابل قبول هستند. ولی از بین این برنامه‌ها برنامه کوتاه‌تر را انتخاب می‌کنیم تا زمان پردازش کوتاه‌تری بر روی هدف مورد نیاز باشد. پس برنامه‌های ۲ از ۵ و ۳ از ۶ را انتخاب می‌کنیم. اکنون می‌خواهیم بین دو برنامه ۲ از ۵ و ۳ از ۶ نیز یک برنامه را به‌عنوان دسته PRF اصلی انتخاب کنیم. در کاربردهای متفاوت ممکن است هر کدام از این برنامه‌ها انتخاب شوند. اگر تعداد شبه‌هدف کمتر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد از بین ۲ برنامه، برنامه ۳ از ۶ را انتخاب می‌کنیم و اگر زمان پردازش کمتر از اهمیت بالاتری برخوردار است از بین دو برنامه

بدست آمد، انتظار می‌رود که با افزایش N ، تعداد اهدافی که کور می‌شوند یا به عبارتی آشکار نمی‌شوند کاهش یابد و همچنین با افزایش M نیز این تعداد افزایش یابد که با توجه به شکل ۵ این امر اتفاق می‌افتد.



شکل ۴. درصد ایجاد شبه‌هدف



شکل ۵. درصد اهداف کور

۴-۲-۱. آشکارسازی به کمک الگوریتم حذف شبه‌هدف

شکل ۶ نیز درصد ایجاد شبه‌هدف، برای برنامه‌های مختلف ۲ از N و ۳ از N در حالی که از الگوریتم حذف شبه‌هدف استفاده می‌شود را نشان می‌دهد. بدون استفاده از این الگوریتم هرچه مقدار N و تعداد اهداف افزایش پیدا می‌کند با افزایش تعداد شبه‌هدف مواجه می‌شویم. ولی وقتی از الگوریتم حذف شبه‌هدف استفاده می‌شود با افزایش N درصد ایجاد شبه‌هدف کاهش می‌یابد. دلیل این کاهش هم این است که در این روش در ابتدا سطح آستانه N است و رفته رفته تا مقدار M کاهش می‌یابد، بنابراین هرچه مقدار N بیشتر باشد سطح آستانه بالاتری داریم و این که هرچه به سمت سطوح آستانه پایین‌تر حرکت می‌کنیم به علت آشکار شدن بعضی از اهداف در مرحله قبل الگوریتم، تعداد اهداف باقیمانده که هنوز آشکار نشدند کاهش می‌یابد و به همین دلیل همبستگی متقابل بین اهداف نیز کاهش می‌یابد. در شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب نتیجه آشکارسازی بدون استفاده از الگوریتم حذف شبه‌هدف و هنگام استفاده از الگوریتم حذف شبه‌هدف برنامه ۲ از ۵، برای ۱۰ هدف نمایش داده شده است. نماد دایره مربوط به موقعیت درست ۱۰ هدف و نماد به‌علاوه (+) مربوط به نتایج آشکارسازی هستند.

برنامه ۲ از ۵ را انتخاب می‌کنیم.

۴-۴. تعیین محدوده انتخاب PRF برای برد و داپلر ماکزیمم داده شده

تا قبل از این بخش برای انتخاب دسته PRI، محدوده انتخاب PRI را محدوده PRI متوسط، یعنی $[33 \mu s - 333 \mu s]$ در نظر گرفته بودیم. در این بخش به دنبال این هستیم که ببینیم اگر محدوده انتخاب (PRI) PRF را گسترش دهیم چه تاثیری بر روی درصد سلول‌های کور و یا درصد شبه‌هدف‌ها دارد. دسته PRI‌های جدول ۶ را در نظر بگیرید. برای برنامه ۲ از ۳ که در این جدول آمده یکی از PRI‌ها کوچک‌تر از $33 \mu s$ است ولی درصد کوری آن از درصد کوری برنامه ۲ از ۳ که محدوده انتخاب PRF، محدوده متوسط بود کمتر است. همین اتفاق برای برنامه ۲ از ۵ هم افتاده است. بنابراین این امکان وجود دارد که با کاهش کران پایین محدوده انتخاب PRI درصد سلول‌های کور برای یک برنامه کاهش یابد. البته شاید همیشه این امر اتفاق نیفتد. ولی تا چه اندازه مجاز هستیم که کران پایین PRI را کوچک در نظر بگیریم تا در عین حال که امکان کاهش درصد کوری را فراهم می‌کنیم با افزایش تعداد شبه‌هدف نیز مواجه نشویم. در این قسمت فرض اولیه این است که هر مقدار PRI را می‌توانیم انتخاب کنیم و خود را محدود به PRF متوسط نمی‌کنیم. سپس محدودیت‌های انتخاب PRF که در بخش ۳ گفته شد را اعمال می‌کنیم. طبق جدول ۳ اندازه سبدهای برد برابر $50m$ است. پس عرض سید برد خوشه برابر $150m$ می‌شود. بنابراین از آنجایی که باید R_{unam} متناظر با هر PRI بزرگ‌تر از عرض خوشه باشد تا تداخلی بین خوشه‌ها به وجود نیاید بنابراین حداقل PRI ممکن برابر $PRI = \frac{0.15}{0.15} = 1 \mu s$ می‌شود. همچنین حداقل مقدار PRF نیز طبق آن چه در بخش ۳ گفته شد، باید $1KH$ باشد. بنابراین حداکثر PRI ممکن $1000 \mu s$ می‌شود.

برای بدست آوردن PRI_{max} از $PRI = 1000$ شروع می‌کنیم و به پایین حرکت می‌کنیم و شروط یکتایی را چک می‌کنیم. در اولین PRI که حداقل یک ترکیب M‌تایی از بین PRI‌های بزرگ‌تر یا مساوی آن وجود دارد که شروط یکتایی را برآورده می‌کنند توقف کرده و آن PRI را به‌عنوان PRI_{max} در نظر می‌گیریم. از $PRI = 1000 \mu s$ شروع می‌کنیم. تا قبل از $PRI = 300 \mu s$ هیچ ترکیب ۲ تایی پیدا نشد. ولی وقتی به $PRI = 300 \mu s$ رسیدیم این PRI به همراه $PRI = 300 \mu s$ شروط یکتایی را برآورده می‌کنند. بنابراین $PRI = 300 \mu s$ را به‌عنوان PRI_{max} در نظر می‌گیریم. بنابراین برای برنامه ۲ از N بررسی شده $28 \mu s \leq PRI \leq 300 \mu s$ (۳/۳۳۳ KHz \leq PRF \leq ۳۵/۷۱ KHz) است.

اکنون می‌خواهیم بررسی کنیم که آیا با این تغییر کران‌ها و انتخاب یک یا چند PRF از محدوده PRF‌های پایین یا محدوده PRF‌های بالا افزایشی در تعداد شبه‌هدف داریم که مشکل‌ساز شود یا نه؟ در مقایسه جدول ۷ با شکل ۶ مشاهده می‌شود که درصد شبه‌هدف‌ها تغییر محسوسی نکرده و تغییر محدوده PRF عملکرد آشکارسازی را با مشکل خاصی مواجه نمی‌کند.

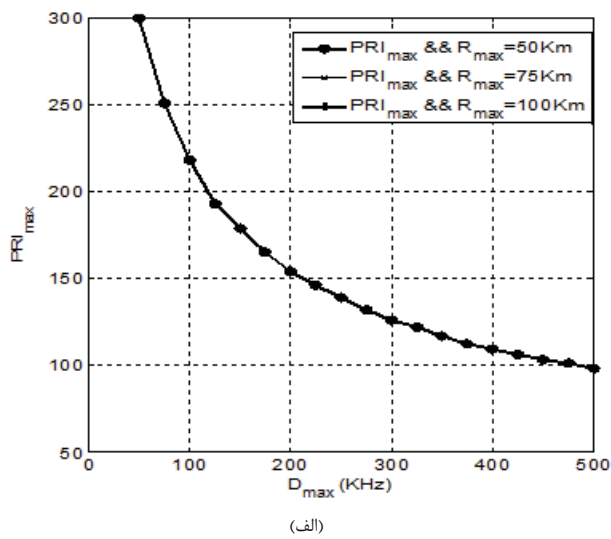
جدول ۷. درصد شبه‌هدف برای دسته‌های داده شده

دسته PRI (μs)	درصد شبه‌هدف (۲ هدفه)	درصد شبه‌هدف (۵ هدفه)	درصد شبه‌هدف (۱۰ هدفه)
۲۸،۵۹،۵۲	٪۰/۴۱	٪۱/۳۴	٪۳/۲۳
۲۹،۳۱،۴۲،۳۸	٪۰	۰/۱۲	۰/۶۴
۳۱،۹۷،۶۸،۱۱۰،۷۶	٪۰	٪۰	۰/۰۲

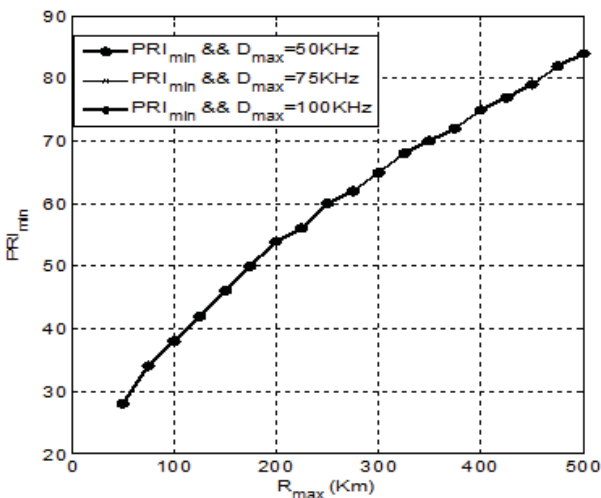
جدول ۶. تعداد و درصد سلول کور برای چند دسته PRI

۲ از N	دسته PRI (μs)	تعداد سلول‌های کور	درصد سلول‌های کور
۳ از ۲	۲۸،۵۹،۵۲	۶۷۹۲۶	۷/۷۸
۴ از ۲	۲۹،۳۱،۴۲،۳۸	۷۵۶۸	۰/۸۸
۵ از ۲	۳۱،۹۷،۶۸،۱۱۰،۷۶	۴۷۶	۰/۰۶

برنامه M از N را در نظر بگیرید. هر ترکیب M‌تایی از دسته انتخابی باید شروط (۳) و (۴) را برآورده کنند. پس می‌توانیم محدوده‌ای از PRI را که نتوانیم قادر باشیم حتی یک ترکیب M‌تایی هم پیدا کنیم که شروط یکتایی را برآورده کنند را از محدوده انتخاب PRI حذف کنیم.



(الف)



(ب)

شکل ۹. الف) مقدار PRI_{max} و ب) مقدار PRI_{min} برای مقادیر مختلف برد ماکزیمم (R_{max}) و داپلر ماکزیمم (D_{max})

شکل (۱۰-الف) مقدار PRI_{min} و PRI_{max} را برای $D_{max} = 50$ KHz، $D_{bin} = 50$ KHz و مقادیر مختلف R_{max} در دو حالتی که دقت تفکیک در برد 50 m و 100 m است، نشان می‌دهد. با دقت در دو نمودار که با خطوط تیره مشخص شده‌اند می‌بینیم با افزایش مقدار تفکیک در برد با افزایش مقدار PRI_{min} مواجه می‌شویم. همچنین تغییر دقت تفکیک داپلر تأثیری در مقدار PRI_{min} ندارد و دو نمودار که با خطوط پر رسم شده‌اند، دقیقاً بر روی هم منطبق می‌شوند. شکل سمت راست شکل ۱۰ هم مقدار PRI_{min} و PRI_{max} را برای $D_{max} = 50$ KHz، $D_{bin} = 50$ Hz و مقادیر مختلف D_{max} در دو حالتی که دقت تفکیک در داپلر 50 Hz و 100 Hz است، نشان می‌دهد. با دقت در دو نمودار که با خطوط تیره مشخص شده‌اند می‌بینیم با افزایش مقدار تفکیک در داپلر (سبب داپلر) با کاهش مقدار PRI_{max} مواجه می‌شویم. همچنین تغییر دقت تفکیک برد تأثیری در مقدار

۴-۴-۱. تأثیر برد و داپلر ماکزیمم بر روی محدوده انتخاب

PRF

علاوه بر مقادیر PRF، عواملی که در برآورده شدن شروط یکتایی تأثیر گذارند عبارتند از برد ماکزیمم (R_{max})، داپلر ماکزیمم (D_{max})، عرض خوشه در دو حوزه برد و داپلر. در این بخش تأثیر D_{max} و R_{max} و در بخش بعدی تأثیر عرض خوشه را مورد بررسی قرار می‌دهیم. وقتی در محدوده PRF‌های پایین‌تر هستیم، مقادیر PRF متناظر با آن‌ها PRF‌های بزرگی هستند و در این حالت شرط (۴) برای مقادیر بزرگ D_{max} هم برآورده می‌شود. بنابراین شرط (۴) در اکثر موارد برآورده خواهد شد و تأثیری در انتخاب PRI_{min} ندارد و وقتی در محدوده PRF‌های بالاتر هستیم، مقادیر PRF متناظر با آن‌ها PRF‌های کوچکی هستند و در این حالت شرط (۳) برای مقادیر بزرگ R_{max} هم برآورده می‌شود. بنابراین شرط (۳) در اکثر موارد برآورده خواهد شد و تأثیری در انتخاب PRI_{max} ندارد.

شکل (۹-ب) مقدار PRI_{min} با توجه به شروط (۳) و (۴) را برای مقادیر مختلف R_{max} و D_{max} نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است علی‌رغم تغییر D_{max} در هر سه حالت نمودارها بر روی هم منطبق شده‌اند، بنابراین می‌شود گفت که مقدار D_{max} تأثیری در تعیین PRI_{min} ندارد، بلکه این R_{max} است که تعیین کننده PRI_{min} است و افزایش R_{max} افزایش PRI_{min} را در پی دارد. شکل (۹-الف) هم مقدار PRI_{max} را برای مقادیر مختلف برد ماکزیمم (R_{max}) و داپلر ماکزیمم (D_{max}) نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است علی‌رغم تغییر R_{max} در هر سه حالت نمودارها بر روی هم منطبق شده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که مقدار R_{max} تأثیری در تعیین PRI_{max} ندارد، بلکه این D_{max} است که تعیین کننده PRI_{max} است و افزایش D_{max} افزایش PRI_{max} را در پی دارد.

۴-۴-۲. تأثیر دقت تفکیک برد و داپلر بر روی محدوده PRF

در این بخش تأثیر دقت تفکیک برد و داپلر را بر روی محدوده PRF بررسی می‌کنیم. همواره $LCM_A \leq LCM$ است. هرچه دقت تفکیک در برد کاهش پیدا کند عرض خوشه کمتر شده و مقادیر LCM_A به مقادیر LCM نزدیک‌تر می‌شوند، یا به عبارتی مقادیر LCM_A افزایش پیدا می‌کند. بنابراین با افزایش مقدار LCM_A احتمال برآورده شدن شرط (۳) افزایش پیدا می‌کند. بنابراین مقادیر کوچک‌تر PRF قادر به برآورده کردن این شرط هستند. پس کاهش دقت تفکیک در برد کاهش PRI_{min} و افزایش آن، افزایش PRI_{min} را در پی دارد. کاهش دقت تفکیک داپلر هم به دلایل ذکر شده افزایش PRI_{max} را در پی دارد.

۴-۳-۴. انتخاب مناسب ترین دسته PRF

همان طور که در بخش ۳-۴ توضیح داده شد در صورت اهمیت زمان پردازش کم تر، برنامه ۲ از ۵ انتخاب می شود. در ادامه کار نیز نشان دادیم که محدوده انتخاب PRF می تواند متفاوت باشد. با تغییر کران های مربوط به PRF متوسط، می توان در صورت امکان در عین حال که درصد سلول های کور را کاهش می دهیم، تعداد شبه هدف نیز تغییر محسوسی پیدا نکند. درحالتی که محدوده انتخاب PRF، ۳ KHz تا ۳۰ KHz بود درصد سلول های کور برنامه ۲ از ۴، ۱/۳۴٪ بود ولی با تغییر محدوده PRF که محدوده انتخاب PRF، ۲۸ KHz تا ۳۰۰ KHz شد درصد سلول کور برای برنامه ۲ از ۴ به زیر ۱/۱ (۱/۸۸٪) رسید. به این ترتیب برای برنامه های ۲ از N می توانیم به جای برنامه ۲ از ۵ از برنامه ۲ از ۴ استفاده کنیم که به زمان کمتری برای پردازش بر روی هدف نیاز دارد.

در جدول ۸ تاثیر هر یک از پارامترها در انتخاب دسته PRF مناسب آورده شده است.

جدول ۸. تاثیر پارامترها در انتخاب دسته PRF مناسب

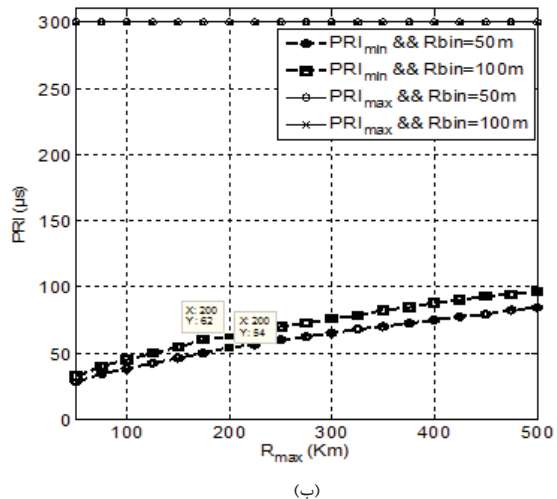
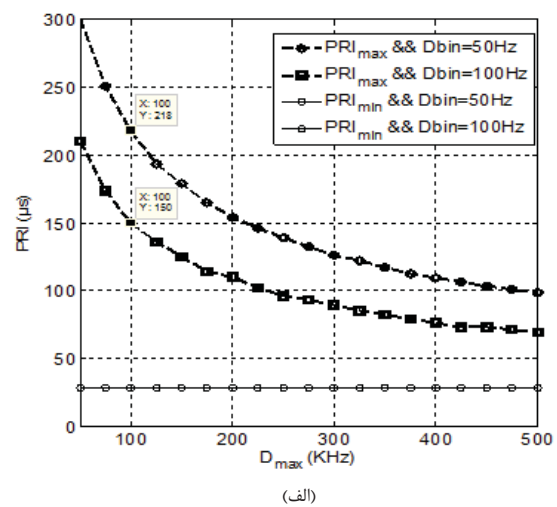
تغییر پارامتر	تاثیر
افزایش مقدار N	کاهش درصد محدوده کور کاهش درصد شبه هدف افزایش زمان پردازش
افزایش مقدار M	افزایش درصد محدوده کور کاهش درصد شبه هدف افزایش کران بالا و کاهش کران پایین محدوده PRF متوسط
افزایش برد ماکزیمم	کاهش کران بالا محدوده PRF متوسط
افزایش داپلر ماکزیمم	افزایش کران پایین محدوده PRF متوسط
افزایش عرض سید برد	کاهش کران بالا محدوده PRF متوسط
افزایش عرض سید داپلر	افزایش کران پایین محدوده PRF متوسط

۵. نتیجه گیری

در این مقاله از الگوریتم حذف شبه هدف جدیدی برای کاهش درصد شبه هدف استفاده شد که به شدت درصد ایجاد شبه هدف را کاهش و نشان داده شد که در معیار M از N، احتمال آشکار شدن شبه هدف با افزایش مقدار N و M کاهش می یابد. همچنین شروط یکتایی جدیدی تعریف شد که نسبت به شروط یکتایی قبلی هنگام استفاده از خوشه بندی در برابر خطا مقاوم است و درصد ایجاد شبه هدف را کاهش داده است. در قسمت پایانی مقاله هم نشان داده شد که با

PRI_{min} ندارد و دو نمودار که با خطوط پر رسم شده اند، دقیقاً بر روی هم منطبق می شوند.

از شکل ۱۰ می توان برای تعیین محدوده PRI متوسط (PRF متوسط) استفاده کرد. به عنوان مثال برای راداری با برد ماکزیمم ۲۰۰ Km و داپلر ماکزیمم ۱۰۰ KHz اگر اندازه سید برد و داپلر به ترتیب ۵۰ m و ۵۰ Hz باشد، محدوده انتخاب PRI باید $218 \mu s \leq PRI \leq 54 \mu s$ و اگر اندازه سید برد و داپلر به ترتیب ۱۰۰ m و ۱۰۰ Hz باشد، محدوده انتخاب PRI باید $1613 \text{ KHz} \leq PRF \leq 67 \text{ KHz}$ باشد.



شکل ۱۰. الف) مقدار PRI_{min} و PRI_{max} را برای $D_{max} = 50 \text{ KHz}$ ، $D_{bin} = 50 \text{ Hz}$ (الف) برای سید داپلر ۵۰ Hz و ۱۰۰ Hz (ب) برای سید برد ۱۰۰ m و ۵۰ m

تغییر محدوده انتخاب PRF متوسط می‌توان موجب کاهش زمان مورد نیاز برای پردازش شد و درصد سلول‌های کور را کاهش داد و این‌که کران‌های پایین و بالای این محدوده، وابسته به برد و داپلر ماکزیمم و اندازه سبدهای برد و داپلر است. افزایش برد ماکزیمم و افزایش عرض سبدهای برد، کاهش کران بالا محدوده PRF متوسط را در پی دارد و افزایش داپلر ماکزیمم و افزایش عرض سبدهای برد، موجب افزایش کران پایین محدوده انتخاب PRF متوسط می‌شود.

۶. مراجع

- [1] J. Simpson, "PRF set selection for pulse-Doppler radars," IEEE Region 5 Conference, 1988: Spanning the Peaks of Electrotechnology, IEEE, 1988.
- [2] M. I. Skolnik, "Introduction to radar systems," New York: Mc-Graw-Hill, 2003.
- [3] W. H. Long, and K. A. Harriger. "Medium PRF for the AN/APG-66 radar," Proceedings of the IEEE Vol.73, No.2 pp. 301-311, 1985.
- [4] N. Levanon, and E. Mozeson. "Radar signals," John Wiley & Sons, 2004.
- [5] A. MS. Zalzal, and P. J. Fleming, eds. Genetic algorithms in engineering systems. Vol. 55. Iet, 1997.
- [6] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.
- [7] E. J. Hughes and C. M. Alabaster, "Medium PRF radar PRF optimisation using evolutionary algorithms," Radar Conference, 2003. Proceedings of the 2003 IEEE.
- [8] P. G. Davies, and E. J. Hughes. Medium PRF set selection using evolutionary algorithms," Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on, Vol.38, No.3, pp.933-939, 2002.
- [9] C. M., Alabaster, E. J. Hughes, and J. H. Matthew. Medium PRF radar PRF selection using evolutionary algorithms," Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on, Vol.39, No.3, pp. 990-1001, 2003.
- [10] Wiley, Dale, et al. Performance comparison of PRF schedules for medium PRF radar," Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on, Vol.42, No.2 pp.601-611, 2006.
- [11] J. Clarke, "The Chinese remainder theorem and multi-PRF radars," no. Rsre-Memo-3650, Royal Signals and Radar Establishment Malvern (United Kingdom), 1984.
- [12] M. I. Skolnik, "Radar Handbook," McGraw-Hill, 2nd edition, 1990.
- [13] P. Vangenderen and W. J. H. Meijer, "Non coherent integration in a medium PRF radar," Radar Conference, 1995, Record of the IEEE 1995 International, IEEE, 1995.

Robust Uniqueness Conditions for Resolving Range and Doppler Ambiguity and Determination of the Range of Medium PRF

N. Bahmani*, M. A. Sebt

*K.N.Toosi University of Technology

(Received: 13/11/2014, Accepted: 03/03/2015)

Abstract

The radars that use medium PRF, have either range ambiguity or Doppler ambiguity, but these ambiguities can be resolved with selecting a PRF set. Avoiding ghost targets detection and minimizing blind zones are two important points that should be considered in targets detection. Then, using this set, coincident algorithm and clustering the closely detected points, we resolve ambiguity and detect the targets. After that, to decrease ghost target detection, deghosting algorithm is used. In this paper, a new definition of uniqueness condition is presented to be robust against errors when clustering is employed. Also, it is shown that the medium PRF range depends on the maximum range and Doppler as well as range bin and Doppler bin.

Keywords: Range and Doppler Ambiguity, Medium PRF, Coincident Algorithms, Ghost Target, Range and Doppler Blind.