روشی جدید برای تخمین همزمان تأخیر و داپلر از تابع ابهام: تلفیق فرآیندهای تصادفی و پردازش‌های مکانی برای حذف کلاتر و نوفه

سید وهاب شجاع الدینی[1] و رحمان کبیری[2]
[1] استادیار مهندسی برق، پژوهشکدهٔ برق و کامپیوتر، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
[2] دانشگاه امام حسین(ع)، دانشکده و پژوهشکدهٔ جنگ الکترونیک

چکیده

در این مقاله یک روش جدید برای تخمین همزمان تأخیر و داپلر در رادارهای مبتنی بر تابع ابهام ارایه می‌شود. در این روش ابتدا هر سلول از تابع ابهام در قالب یک متغیر تصادفی در نظر گرفته شده و با توجّه به تغییرات مقدار آن طی اسکن‌های متوالی رادار، یک فرآیند تصادفی برای آن تخمین زده می‌شود. با استفاده از پارامترهای فرآیندهای تصادفی فوق، تابع ابهام رادار به بخش‌های با احتمال بالای وجود هدف و با احتمال بالای وجود کلاتر و نوفه افراز می‌شود. سرانجام با استفاده از پردازش‌های مکانی، مقادیر تأخیر و داپلر مربوط به اهداف اصلی از تابع ابهام افراز شده فوق استخراج و بدین ترتیب اهداف مزبور آشکارسازی و تفکیک می‌شوند. عملکرد روش پیشنهادی این مقاله در دو حالت جداگانه و برای آشکارسازی اهداف با حرکت سریع و اهداف با حرکت کند آزموده می‌شود. نتایج حاصل از آزمون‌های فوق حاکی از برتری روش پیشنهادی این مقاله نسبت به روش‌های موجود در آشکارسازی هر دو نوع فوق از اهداف می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود که روش پیشنهادی این مقاله در مقایسه با روش‌های موجود، بهبود چشم‌گیرتری را در آشکارسازی اهداف کند نسبت به آشکارسازی اهداف سریع ایجاد می‌نماید.

واژگان کلیدی: رادار، تابع ابهام، تأخیر، داپلر، حذف کلاتر و نوفه، فرآیندهای تصادفی، آشکارسازی.

۱- مقدمه

بسیاری از رادارها برای ردیابی اهداف، دو پارامتر تأخیر و شیفت داپلر را از سیگنال دریافت شده توسط گیرندهٔ راداری استخراج می‌نمایند. برای این کار ابتدا برای هر اسکن راداری یک تابع ابهام[1] با متغیرهای تأخیر و داپلر به‌دست می‌آید که هر نقطه (سلول) از این تابع می‌تواند یک هدف بالقوه باشد (*Dzvonkovskaya, et al., 2008*). سپس اهداف موجود در هر اسکن راداری در قالب قلّه‌های تابع ابهام آن اسکن آشکارسازی می‌شوند. سیگنال دریافتی توسط یک رادار علاوه‌بر داشتن اطّلاعات مربوط به هدف، شامل سیگنال‌های بازگشتی از اهداف کاذب و یا سیگنال‌های محیطی تولید شده توسط منابع مختلف رادیویی (کلاتر)[2] و همچنین نوفه گیرنده راداری است (*Magraner, et al., 2010*). از طرفی توان سیگنال بازگشتی از اهداف مختلف نیز متفاوت است. بنابراین مسایلی نظیر ایجاد قلّه‌های کاذب در تابع ابهام که به آشکارسازی اهداف کاذب و هشدار غلط[3] منجر و یا ضعیف‌بودن قلّه‌های مربوط به برخی اهداف که به گم‌کردن یک هدف در برخی زمان‌ها منجر می‌شود، از مهم‌ترین مشکلاتی می‌باشند که این قبیل رادارها با آنها مواجه هستند (*Magraner, et al., 2010*)، (*Jiangun, et al., 2010*). با توجّه به این مشکلات، یکی از مراحل اصلی پردازش سیگنال در این رادارها استخراج اطّلاعات اهداف از میان عوامل مزاحم پیش‌گفته است. به‌دلیل تغییرات قابل توجّه توان عوامل فوق در طی زمان فعّالیت رادار، استفاده از آستانهٔ ثابت برای تفکیک هدف از عوامل مزاحم فوق منجر به آشکارسازی اهداف کاذب و یا از دست‌دادن هدف اصلی در زمان‌های مختلف ردیابی شده و به همین علّت در این

[1]. Ambiguity Function (AF)
[2]. Clutter
[3]. False Alarm

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-18]

رادارها آستانهٔ مزبور به‌صورت وفقی در طول زمان ردیابی محاسبه می‌شود (*Magraner, et al., 2010*)، (*Jiangun, et al., 2010*)، (*Turley, 1997*) . روش‌هایی را که تاکنون برای تفکیک وفقی اطّلاعات مربوط به هدف از عوامل مزاحم استفاده شده‌اند را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. در دستهٔ اوّل روش‌ها، آستانهٔ مربوط به هر سلول از تابع ابهام به شیوه‌های مختلفی از روی سلول‌های همسایهٔ آن حاصل می‌شود. این شیوه‌ها می‌توانند شامل استفاده از انواع مختلفی از محاسبهٔ میانگین یا میانه روی سلول‌های همسایه (*Rohlling,1983*)، (*Vito and Moretti, 1989*)، انتخاب بزرگ‌ترین یا کوچک‌ترین آنها (*Daojing anf Guilong, 2001*)، (*Vito and Moretti, 1989*)و یا مرتّب‌سازی سلول‌های همسایه و استفاده از kاُمین سلول مرتّب‌شده باشند (*Mingyan, et al., 2008*). در برخی تحقیقات جدیدتر، از تلفیق کردن برخی از این شیوه‌ها نیز استفاده شده است (*Jiangun, et al., 2010*). اگرچه این گونه روش‌ها می‌توانند احتمال هشدار غلط را در طول زمان ردیابی ثابت نگه دارند، ولی در صورت بروز کلاترهای غیر همگن، مانند باران‌هایشدید، جمینگ و تداخل سیگنال سایر رادارها، میزان آشکارسازی‌های غلط در آنها افزایش می‌یابد. همچنین تحقیقات گذشته نشان داده‌اند در مواردی که چند هدف نزدیک به هم داریم، عملکرد این روش‌ها به‌طرز قابل ملاحظه‌ای اُفت می‌نماید (*Xiangwei and Fuyong, 2010*).

برای آشکارسازی اهداف در شرایط وجود کلاترهای غیر همگن، دسته دوم روش‌ها ارایه می‌شوند که در آنها آستانهٔ مربوط به هر سلول تابع ابهام به شیوه‌های مختلفی از سابقهٔ زمانی آن حاصل می شود (*Musicki, et al., 2005*). برای انجام این کار در برخی از روش‌ها از میانگین‌گیری زمانی متحرک برای حصول آستانهٔ مورد نظر استفاده شده است (*Nitzberg,1986*). در روش‌های دیگری از فیلترینگ، سابقهٔ زمانی هر سلول به‌منظور تفکیک هدف از کلاتر استفاده گردیده است (*Xiangwei and Fuyong, 2010*)، (*Lopes,*1996). در تعداد دیگری از روش‌ها ویژگی‌هایی نظیر موجک به‌منظور تفکیک کلاتر و هدف مورد استفاده قرار گرفته‌اند (*Jangal, et al., 2009*). و در پاره‌ای روش‌ها رفتار زمانی کلاتر در قالب بعضی شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل شده است(*Leung, et al., 2002*). تلفیق ویژگی موجک با شبکهٔ عصبی، به‌منظور تفکیک کلاتر و هدف نیز در برخی مقالات گزارش شده است (*Lin, et al., 2000*). اگرچه این دسته از روش‌ها بر خلاف دستهٔ قبلی، عملکرد بهتری را در برابر کلاترهای غیرهمگن نشان داده‌اند (*Ebrahimian,2005*)، امّا خود با مشکلات دیگری مواجه هستند. برخی از این روش‌ها فقط می‌توانند تعداد ثابتی از کلاترها را در هر بازهٔ زمانی حذف کنند و بر این اساس در برخی بازه‌های زمانی که تعداد کلاترهای واقعی از تعداد کلاترهای حذف شده توسط روش مورد نظر کمتر است، آشکارسازی اهداف کاذب را خواهیم داشت (*Xiangwei, 2010*). از طرفی اغلب این روش‌ها دارای بار محاسباتی قابل توجهی بوده و برخی دیگر نیز نیازمند اطّلاعات اوّلیه از هدف و محیط ردیابی هستندکه البتّه در بسیاری از موارد این اطّلاعات در دسترس نیست. مشکل دیگر این روش‌ها نیز محدودیت آنها در ردیابی اهداف کّند است که به پدیدهٔ خودپوشانی اهداف[1] منجر می‌شود (*Ebrahimian,2005*). علاوه‌بر موارد فوق، این روش‌ها بیش‌تر بر روی سیگنال‌های راداری یک‌بُعدی آزموده شده‌اند، درحالی‌که به موازات پیشرفت‌های حاصل شده در سخت‌افزارها، استفاده از رادارهای مبتنی بر تابع ابهام در سال‌های اخیر رشد و توسعهٔ بسیاری یافته است(*Dzvonkovskaya, et al., 2008*)، (*Magraner, et al., 2010*)، (*Wei and Weibo, 2009*) . تاکنون تحقیقات متعددی در مورد انواع کلاترهای راداری انجام و نشان داده شده که بسیاری از کلاترها دارای ماهیت آماری بوده و به‌صورت پدیده‌های تصادفی قابل بیان می‌باشند (*Watts,* 1991). از طرفی در همین اواخر در برخی تحقیقات برای جداسازی هدف از کلاتر در رادارهای مبتنی بر تابع ابهام از روش‌های پردازش تصاویر دوبُعدی استفاده شده است که مبتنی بر مفاهیم آماری ساده‌ای مانند هیستوگرام‌های کلّی یا محلّی بوده‌اند(*Li, et al., 2009*).

در این مقاله روشی جدید برای تفکیک کلاتر و نوفه از اهداف، در رادارهای مبتنی بر تابع ابهام و در محیط‌های غیر همگن ارایه می‌شود که بر تلفیق مدل‌سازی کلاتر مبتنی بر فرآیندهای تصادفی و بخش‌بندی تصاویر استوار است. این روش شامل دو مرحله است که در اولین مرحله، با توجّه به تطابق مناسبی که فرآیندهای تصادفی در بیان رفتار کلاترها نشان داده‌اند (*Watts,* 1991)، هر سلول از تابع ابهام در قالب یک متغیر تصادفی مدل شده و برای توصیف ریاضی این مدل، یک فرآیند تصادفی مبتنی بر سابقهٔ زمانی همان سلول تشکیل داده می‌شود. این فرآیند تصادفی برای تمام سلول‌های تابع ابهام در طی اسکن‌های متوالی راداری مرتباً

[1] . Self Masking

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-18]

به‌روز می‌شود. با بررسی نحوهٔ تغییر پارامترهای فرآیند تصادفی مربوط به هر سلول در هر اسکن، احتمال تعلق سلول مزبور به نویز و کلاتر تعیین و در صورت بالا بودن این احتمال، سلول مورد نظر به‌عنوان نوفه و کلاتر لحاظ شده و در غیر این صورت، به‌عنوان جزیی احتمالی از یک هدف متحرک منظور می شود. عواملی مانند محدودیت پهنای باند سیگنال راداری و وضوح برد و یا مسایلی نظیر اعوجاجات چندمسیری در رادارها باعث می‌شوند تا هدف در تابع ابهام به‌صورت یک ناحیه از سلول‌ها مشخّص شود. بر همین اساس استفاده از فرآیندهای تصادفی مزبور موجب استخراج ناحیه‌های پراکنده‌ای از اهداف (و نه چند هدف مجزا) در تابع ابهام خواهد شد. لذا در مرحلهٔ دوم روش پیشنهای این مقاله، با انجام پردازش های مکانی مبتنی بر ناحیه‌بندی تصاویر، اهداف مجزا که هر کدام دارای یک تأخیر و داپلر مشخّص هستند از میان نواحی حاصل از فرآیندهای تصادفی استخراج می‌شوند. روش پیشنهادی به‌دلیل مدل‌کردن کلاتر با فرآیندهای تصادفی دارای تطابق بیشتری با ماهیت فیزیکی کلاتر است. از طرفی در این روش برای هر سلول یک فرآیند تصادفی جداگانه در نظر گرفته می‌شود و لذا هر سلول برای تعیین تعلق به کلاتر یا هدف صرفاً با سابقه زمانی خودش مقایسه می شود. لذا محدودیت‌های روش‌های پیشین نظیر ناتوانی در ردیابی اهداف کُند و پوشانده‌شدن یک هدف به‌وسیلهٔ اهداف دیگر در روش پیشنهادی، کمتر بروز خواهد نمود.

ساختار مقاله به‌صورت زیر است. در بخش ۲، نحوهٔ تشکیل مدل مبتنی بر فرآیندهای تصادفی برای هر سلول بیان شده و آزمون فرض‌های مبتنی بر این مدل به‌منظور تفکیک هدف و کلاتر نیز ارایه می‌شود. در همین بخش چگونگی استفاده از ناحیه‌بندی تصویر در تفکیک اهداف احتمالی در تابع ابهام نیز تشریح می‌گردد. در بخش ۳، عملکرد روش پیشنهادی این مقاله آزموده می‌شود. در این بخش دو سناریو بر اساس شرایط واقعی شبیه‌سازی شده و عملکرد روش پیشنهادی در هر دوی این سناریوها بررسی می‌گردد. در بخش۴، نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌ها مورد بررسی قرار گرفته و کارایی روش پیشنهادی با کارایی روش موجود از جهات مختلف مقایسه می‌شود. بخش پایانی مقاله نیز به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲- تشریح روش پیشنهادی

یک دنبالهٔ زمانی I از توابع ابهام را در نظر بگیرید که I_t تابع ابهام مربوط به این دنباله در قاب t است. برای هر سلول تأخیر- داپلر از I_t که برای اختصار از این پس آن را سلول می نامیم، داریم:

$$I_{tij} = I_t(l,j) \quad 1 \le l \le L \quad , \quad 1 \le j \le J \quad , \quad 0 \le t \le T \qquad (۱)$$

که I_{tlj} اندازهٔ سلولی است که در تأخیر l و داپلر j از تابع ابهام I_t قرار گرفته است. L و J نیز به‌ترتیب ابعاد افقی و عمودی صفحه I_t و T نیز حداکثر طول زمانی دنبالهٔ I هستند. در هر قاب t_0 و برای هر سلول واقع در تأخیر l و داپلر j خواهیم داشت:

$$\{I_{t_0lj}\} = \{I_{0lj}, I_{1lj}, ..., I_{t_0lj}\} \qquad (۲)$$

که $\{I_{t_0lj}\}$ یک سری زمانی است که از اندازه‌های سلول واقع در تأخیر l و داپلر j در تمام فریم‌های دنبالهٔ توابع I تا قاب t_0 تشکیل شده است. اکنون می‌خواهیم احتمال تعلق این سلول در قاب t_0+1 را به هدف یا کلاتر و نوفه تعیین کنیم. برای این کار طبق آزمون فرض‌ها، دو فرض H_0 و H_1 را به‌صورت (۳) تعریف می‌نماییم.

$$\begin{cases} H_0: & I_{(t_0+1)lj} = \left| c_{(t_0+1)lj} + n_{(t_0+1)lj} \right| \\ H_1: & I_{(t_0+1)lj} = \left| s_{(t_0+1)lj} + c_{(t_0+1)lj} + n_{(t_0+1)lj} \right| \end{cases} \qquad (۳)$$

در رابطهٔ فوق $I_{(t_0+1)lj}$ نشان‌گر سلول واقع در تأخیر l و داپلر j از تابع ابهام در قاب t_0+1 بوده و H_0 و H_1 به‌ترتیب فرض تعلق سلول فوق را به کلاتر و هدف نشان می‌دهند. همچنین $c_{(t_0+1)lj}$ و $n_{(t_0+1)lj}$ به‌ترتیب مؤلّفه‌های نوفه و کلاتر را در این سلول و در قاب t_0+1 نشان می‌دهند.

۲-۱- تشکیل مدل مبتنی بر فرآیندهای تصادفی

برای تعیین تعلق سلول $I_{(t_0+1)lj}$ به یکی از فرض‌های رابطهٔ (۳)، سابقهٔ زمانی آن یعنی $\{I_{t_0lj}\}$ را یک فرآیند تصادفی فرض نموده و بر این اساس یک مدل ریاضی مبتنی بر احتمالات برای بیان تغییرات زمانی سلول فوق تا قاب t_0 تشکیل می‌دهیم. در این تحقیق برای تشکیل مدل فوق از تابع توزیع $F(.)$ در قالب رابطهٔ (۴) استفاده می نماییم.

$$f_{I_{t_0lj}}(I_{t_0lj}) = F(I_{0lj}, I_{1lj}, ..., I_{t_0lj} \mid \propto_{1t_0lj}, \propto_{2t_0lj}, ..., \propto_{kt_0lj}, ... \propto_{Kt_0lj}) \qquad (۴)$$

در رابطهٔ فوق $\propto_{kt_0lj}$ پارامترهای تابع توزیع $F(.)$ هستند که تعداد آنها K می‌باشد. به‌طور معمول برای توابع توزیع معروف، K بین ۱ تا ۳ در نظر گرفته می شود. برای هر $F(.)$ انتخاب شده، مشخّص‌کردن مدل تصادفی $f_{I_{t_0lj}}(I_{t_0lj})$ منوط به یافتن پارامترهای $\propto_{kt_0lj}$ می‌باشد.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-18]

بنابراین در ادامهٔ کار باید این پارامترها برای تابع $F(.)$ و از روی رشتهٔ معلوم $\{I_{t_0lj}\}$ تخمین زده شوند. برای رعایت اختصار پارامترهای توزیع فوق را در قالب رشته‌ای به صورت (۵) نشان می‌دهیم.

$$\propto = \{\propto_{1t_0lj}, \propto_{2t_0lj}, ..., \propto_{kt_0lj}\} \quad (۵)$$

طبق قضایای فرآیندهای تصادفی (*Degroot and Schervish, 2002*) می‌توان روابط (۴) و (۵) را به صورت (۶) تلفیق و بازنویسی نمود.

$$F(I_{0lj}, I_{1lj}, ..., I_{t_0lj} | \propto) = F(I_{0lj} | \propto).F(I_{1lj} | \propto)...F(I_{klj} | \propto) \quad (۶)$$

تابع $L(.)$ را موسوم به تابع شباهت مطابق رابطهٔ (۷) تعریف می‌کنیم (*Degroot and Schervish, 2002*).

$$L(\propto | I_{0lj}, I_{1lj}, ..., I_{t_0lj}) = F(I_{0lj}, I_{1lj}, ..., I_{t_0lj} | \propto) = \prod_{k=0}^{t_0} F(I_{klj} | \propto) \quad (۷)$$

با محاسبهٔ لگاریتم از طرفین رابطهٔ (۷) فرم لگاریتمی تابع شباهت به‌صورت مجموعی از جملات توزیع و مطابق با رابطهٔ (۸) به‌دست می‌آید.

$$\ln(L(\propto | I_{0lj}, I_{1lj}, ..., I_{t_0lj})) = \sum_{k=0}^{t} \ln(F(I_{klj} | \propto)) \quad (۸)$$

اکنون، مطابق روابط (۹) و (۱۰) متغیر $\hat{L}$ را به‌عنوان متوسط لگاریتم تابع شباهت تعریف می‌نماییم. پارامترهای رشتهٔ $\propto$ از بیشینه‌کردن این تابع از تخمین بیشنهٔ شباهت (*Degroot and Schervish, 2002*)، (*Myung, 2003*) به‌صورت $\hat{\propto}$ حاصل می‌شوند.

$$\hat{L} = \frac{1}{t_0 + 1} \ln(L(\propto | I_{0lj}, I_{1lj}, ..., I_{t_0lj})) \quad (۹)$$

$$\hat{\propto} = \arg\max(\hat{L}(\propto | I_{0lj}, I_{1lj}, ..., I_{t_0lj})) \quad (۱۰)$$

با تخمین پارامتر از رابطهٔ (۱۰) و قراردادن این پارامترها در توزیع رابطهٔ (۴)، مدل تصادفی سلول واقع در تأخیر l و داپلر j بر اساس مقادیر آن در طی تمام صورت‌های اوّل تا t_0 مشخّص می‌شود. اکنون برای تعیین تعلق سلول $I_{(t_0+1)lj}$ به کلاتر یا هدف، میزان تعلّق آن به مدل آماری بیان شده در رابطهٔ (۴) به‌صورت $Z(I_{(t_0+1)lj})$ تعریف شده و بر اساس رابطهٔ (۱۱) به‌دست می‌آید.

$$Z(I_{(t_0+1)lj}) = P(I_{(t_0+1)lj} | F(I_{0lj}, I_{1lj}, ..., I_{t_0lj} | \propto)) = f_{I_{t_0lj}}(I_{(t_0+1)lj}) \quad (۱۱)$$

در رابطهٔ فوق، P احتمال تعلّق سلول $I_{(t_0+1)lj}$ به $F(.)$ است. بر اساس رابطهٔ (۱۲)، اگر مقدار تعلّق فوق از آستانهٔ η_{t_0lj} بیشتر باشد، سلول به کلاتر و نوفه (H_0) و در غیر این صورت به هدف (H_1) تعلق می‌یابد.

$$Z(I_{(t_0+1)lj}) \gtrless_{H_1}^{H_0} \eta_{t_0lj} \quad (۱۲)$$

بر اساس رابطهٔ (۱۲)، سلول‌های تابع ابهام I_{t_0+1} به دو دسته افراز می‌شوند که بر اساس آنها می‌توان تابع ابهام I'_{t_0+1} را متناظر با I_{t_0+1} و مطابق رابطهٔ (۱۳) حاصل نمود. رابطهٔ (۱۳) هر سلول از تابع ابهام در قالب $t_0 + 1$ را با مدل تصادفی کلاتر و نوفه که بر اساس دادگان همان سلول از اولین قالب تا قالب t_0 تشکیل شده است، مقایسه کرده و صفحهٔ جدیدی مانند I'_{t_0+1} را تشکیل می‌دهد. در صورت صدق نمودن سلول فوق در مدل تصادفی کلاتر و نوفه، مقدار آن در صفحهٔ I'_{t_0+1} صفر قرار داده شده و بدین ترتیب از روند استخراج اهداف حذف می‌گردد. در غیر این صورت مقدار آن در تصویر I'_{t_0+1} برای ادامه پردازش به‌منظور استخراج اهداف احتمالی حفظ می‌شود.

$$\begin{cases} I'_{(t_0+1)lj} = 0 & Z(I_{(t_0+1)lj}) > \eta_{t_0lj} \\ I'_{(t_0+1)lj} = I_{(t_0+1)lj} & else \end{cases} \quad (۱۳)$$

۲-۲- پردازش مکانی روی سلول‌های هدف احتمالی

بر اساس رابطهٔ (۱۳) تابع ابهام $I'_{(t_0+1)}$ فقط شامل سلولهایی از $I_{(t_0+1)}$ خواهد بود که احتمال تعلّق آنها به هدف بیشتر از احتمال تعلّق آنها به کلاتر و نوفه باشد. بنابراین ممکن است که $I'_{(t_0+1)}$ شامل سلول‌هایی غیر از هدف اصلی و به‌خصوص همسایگان آن باشد که به افت عملکرد آشکارسازی منجر می‌شود. در ادامه با انجام پردازش‌های مکانی، تلاش می‌شود تا سلول اصلی متعلّق به هدف از صفحهٔ شبه‌تصویر $I'_{(t_0+1)}$ استخراج شود. بدین منظور از الگوریتم مبتنی بر ناحیه‌بندی تصویر استفاده می‌کنیم که با استفاده از پیوستگی و همسایگی پیکسل‌ها، اشیای یک‌پارچه[1] موجود در تصویر را استخراج می‌نمایند. در این مقاله با استفاده از روشی که شاپیرو و همکاران برای ناحیه‌بندی تصاویر ارایه نموده‌اند (*Shapiro and Haralick, 1992*)، اشیای پیوستهٔ موجود در $I'_{(t_0+1)}$ مطابق رابطهٔ (۱۴) و با استفاده از پیوستگی همسایهٔ ۸ تایی[2] استخراجمی‌شوند.

$$\{O_{(t_0+1)}\} = \{O_{(t_0+1)1}, ..., O_{(t_0+1)w}, ..., O_{(t_0+1)W}\} \quad (۱۴)$$

که $\{O_{(t_0+1)}\}$ مجموعه اشیای پیوستهٔ موجود در قالب $t_0 + 1$، $O_{(t_0+1)w}$ شیء wاُم از این مجموعه و W تعداد کلّ اشیای مستخرج از تابع ابهام این قالب است. متناظر با

[1]. Connected Objects
[2]. Eight-Connected

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-18]

مجموعهٔ فوق، رشتهٔ λ را به‌صورت رابطهٔ (۱۵) تعریف می‌کنیم که هر یک از عبارات $\lambda_{(t_0+1)w}$ تعداد سلول‌های متعلق به شیء $O_{(t_0+1)w}$ است.

$$\{\lambda_{(t_0+1)}\}=\{\lambda_{(t_0+1)1},...,\lambda_{(t_0+1)w},...,\lambda_{(t_0+1)W}\} \quad (۱۵)$$

در مرحلهٔ بعدی پردازش، اعضای $\{O_{(t_0+1)}\}$ را برحسب تعداد سلول‌های متعلّق به آنها (یعنی $\{\lambda_{(t_0+1)}\}$) مرتب کرده و مطابق رابطه‌های (۱۶) و (۱۷) مجموعه جدید اشیاء $\{O'_{(t_0+1)}\}$ را با استفاده از آن B عضوی از $\{O_{(t_0+1)}\}$ تشکیل می‌دهیم که تعداد سلول‌های متعلّق به آنها از آستانهٔ مشخّصی مانند α بیشتر باشد.

$$\{O'_{(t_0+1)}\}=\{O'_{(t_0+1)1},...,O'_{(t_0+1)b},...,O'_{(t_0+1)B}\} \quad (۱۶)$$

$$O'_{(t_0+1)b}=O_{(t_0+1)w} \quad , \quad \lambda_{(t_0+1)w}>\alpha \quad (۱۷)$$

سپس با انجام پردازش محلّی روی اعضای $\{O'_{(t_0+1)}\}$ مجموعهٔ $\{O''_{(t_0+1)}\}$ را تشکیل می‌دهیم به گونه‌ای که بین اعضای آن با اعضای $\{O'_{(t_0+1)}\}$ روابط (۱۸) و (۱۹) برقرار باشد.

$$\{O''_{(t_0+1)}\}=\{O''_{(t_0+1)1},...,O''_{(t_0+1)b},...,O''_{(t_0+1)B}\} \quad (۱۸)$$

$$O''_{(t_0+1)b}=\max(O'_{(t_0+1)b}) \quad (۱۹)$$

بر اساس روابط اخیر مجموعهٔ نقاط تأخیر- داپلر $\{O''_{(t_0+1)}\}$ بیشینه‌های محلّی اشیای موجود در $I'_{(t_0+1)}$ هستند که برای هر هدف فقط یک زوج تأخیر- داپلر منحصر به‌فرد از تابع ابهام را مشخص می‌سازد.

با تلفیق روابط (۳) و (۱۹) می‌توان وضعیت هر سلول از تابع ابهام I_{t_0+1} را طبق رابطهٔ (۲۰) معین نمود.

$$\begin{cases} H_0: \quad I_{(t_0+1)lj}\notin O''_{(t_0+1)} \equiv \\ \quad I_{(t_0+1)lj}=\left|c_{(t_0+1)lj}+n_{(t_0+1)lj}\right| \\ H_1: \quad I_{(t_0+1)lj}\in O''_{(t_0+1)} \equiv \\ \quad I_{(t_0+1)lj}=\left|s_{(t_0+1)lj}+c_{(t_0+1)lj}+n_{(t_0+1)lj}\right| \end{cases} \quad (۲۰)$$

دو معیار برای بررسی و مقایسه عملکرد روش پیشنهادی تعریف می شود. اوّلی بیان‌گر توانمندی روش پیشنهادی در آشکارسازی درست سلول‌های متعلّق به هدف بوده و با احتمال انتساب درست یک سلول به هدف و مطابق (۲۱) تعریف می‌شود.

$$P_D=P(I_{(t_0+1)lj}\in O''_{(t_0+1)}\,|H_1) \quad (۲۱)$$

معیار دوم خطای هشدار غلط است که احتمال تشخیص غلط سلول را به‌عنوان هدف بیان می‌کند و مطابق (۲۲) تعریف می‌شود.

$$P_{fa}=P(I_{(t_0+1)lj}\in O''_{(t_0+1)}\,|H_0) \quad (۲۲)$$

۳- اجرا و آزمایش روش پیشنهادی

روش پیشنهادی مقاله با استفاده از بستهٔ نرم‌افزاری Matlab2009 پیاده سازی شد. نرم‌افزار پیاده‌سازی شده شامل سه بخش اساسی و مجزا می‌باشد. بخش اوّل مربوط به شبیه‌سازی اهداف است که در این مرحله ابتدا منحنی حرکت اهداف در بازهٔ زمانی مشخّصی شبیه‌سازی شده و متناظر با آن توابع ابهام قالب‌های مختلف تولید و ذخیره‌سازی می‌شوند. پارامترهای اصلی این بخش از شبیه‌سازی عبارتند از: تعداد اهداف فعال در هر قالب، تأخیر و داپلر مربوط به هر هدف، کلاتر و نوفهٔ اضافه شده به هر تابع ابهام که در قالب نسبت سیگنال به کلاتر و نوفه[1] بیان می‌شود، نسبت بزرگی قلّهٔ هر هدف نسبت به سایر اهداف در هر صفحه (میزان غیر هم توان بودن اهداف) که به‌صورت تصادفی طی قالب‌های مختلف تغییر می‌نماید، پهنای قلّهٔ هر هدف که به معنای تعداد سلول‌های همسایه و به‌طور تقریبی هم اندازهٔ سلول آن است (پهن‌شدگی اطراف هر هدف در تابع ابهام)، سرعت هر هدف، زمان‌های شروع و خاتمه حرکت هر هدف در طی بازهٔ زمانی شبیه‌سازی و قالب‌های گمشدهٔ هر هدف.

در بخش دوم و اصلی نرم‌افزار، الگوریتم تشریح شده در (بخش۲) این مقاله بر روی دادگان شبیه‌سازی شده فوق، اجرا و اهداف مربوط به هر قالب آشکارسازی شدند. در این بخش برای استخراج فرآیند تصادفی مربوط به هر سلول از تابع ابهام از تابع توزیع رایلی استفاده شد. در همین بخش روش آشکارسازی مبتنی بر الگوی کلاتروفقی[2] (ACM) (*Xiangwei and Fuyong, 2010*) از میان روش‌های موجود به‌منظور مقایسه با روش پیشنهادی این مقاله پیاده‌سازی شده و نتایج حاصل از آن برای دادگان شبیه‌سازی به‌دست آمد. سرانجام در بخش سوم، اهداف آشکار شده در هر قالب با اهداف اصلی شبیه‌سازی مقایسه شده و احتمالات آشکارسازی و هشدار غلط که در بخش قبلی معرفی شدند، هم برای الگوریتم پیشنهادی این مقاله و هم برای روش ACM حاصل گردیدند. بدین ترتیب امکان مقایسه و بررسی بهتر عملکرد روش پیشنهادی با روش‌های موجود فراهم گردید. به‌منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی این مقاله سناریوهای مختلفی شبیه‌سازی شدند.

---

[1] . Signal to Clutter and Noise Ratio (SCNR)
[2] . Adaptive Clutter Map (ACM)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-18]

۳-۱- سناریوی اوّل شبیه‌سازی

در اوّلین سناریو سه هدف با حرکت سریع شبیه‌سازی شدند. جدول(۱) پارامترهای مهم شبیه سازی در این سناریو و شکل (۱- الف) منحنی حرکت اهداف این سناریو را در صفحهٔ تأخیر- داپلر و در طی بازه‌ای شامل ششصد قالب نشان می‌دهند. برای واقعی‌تر شدن شرایط، تعداد اهداف در طول شبیه‌سازی متغیر فرض شده که نحوهٔ تغییر تعداد آنها در (شکل۱-ب) نشان داده شده است. بنابرآنچه در قبل ذکر شد، هر قالب از (شکل ۱-الف) دارای یک تابع ابهام است که علاوه‌بر هدف، شامل نوفه و کلاتر بوده و اهداف قالب مورد نظر از پردازش این تابع آشکارسازی می‌شوند. در طی این شبیه‌سازی، هر هدف در تعداد مشخّصی از قالب‌ها به‌طور کلّی حذف می‌گردد که مشاهدات گم شده،[1] نامیده می‌شوند. از آنجا که مشاهدات متوالی گمشده برای هر هدف در کیفیت آشکارسازی آن مؤثر است، یک‌چهارم از مشاهدات گمشدهٔ هر هدف به مشاهدات گمشدهٔ متوالی اختصاص یافته است.

(جدول۱): مشخّصات سناریوی اوّل شبیه‌سازی

ویژگی	مقدار	ویژگی	مقدار
تعداد کل قالب‌های شبیه‌سازی	۵۱۵۳۵	بیشینهٔ اختلاف بزرگی سلول‌های اهداف (بدون اثر نوفه)	۴۰٪
بیشینهٔ اهداف هم‌زمان	۳هدف	محدودهٔ نسبت سیگنال به کلاتر و نوفه (دسیبل)	(۱۲-) تا (۲۴-)
میانگین نرخ تغییر اهداف بر قالب (نمونه بر قالب)	هدف۱: ۰/۳۷	درصد مشاهدات گمشده	هدف۱: ٪۱۰
	هدف۲: ۰/۱۸		هدف۲: ٪۱۰
	هدف۳: ۰/۵۶		هدف۳: ٪۱۰
میانگین نرخ تغییر داپلر اهداف بر قالب (هرتز بر قالب)	هدف۱: ۱/۴	هالهٔ همسایگی هر هدف در محورهای تأخیر و داپلر (سلول)	تأخیر: ۴ ± داپلر: ۳ ±
	هدف۲: ۱		
	هدف۳: ۲/۰۲		

برای پرهیز از پیچیدگی، از مدل سوئرلینگ صفر بهره برده‌ایم که به مفهوم فرض RCS ثابت می باشد. شکل‌های (۲- الف) و (۲- ب) منحنی حرکت اهداف (۱- الف) که توسط نرم افزار مبتنی بر روش این مقاله و نرم افزار مبتنی بر ACM آشکار شده‌اند، را نشان می‌دهند. برای ارزیابی هر یک از دو روش مورد بررسی، چنانچه در هر قالب اختلاف سلول، رد آشکارشده و سلول رد اصلی در محور داپلر بیشینهٔ ۲ و در محور تأخیر بیشینهٔ یک سلول بود، سلول آشکارشده به‌عنوان یک آشکارسازی درست منظور وگرنه به‌عنوان هشدار غلط محسوب می‌گردد. با این معیار برای نتیجهٔ نشان داده شده در (شکل ۲- الف) از میان ۱۲۴۹ قلّهٔ مربوط به اهداف سه گانه در طی ششصد قالب، ۱۲۳۲ قله به‌درستی آشکار شده و پنج آشکارسازی نادرست نیز انجام شده است. همین مقادیر برای نتیجهٔ حاصل از الگوریتم ACM که در (شکل ۲- ب) نشان داده شده است، به‌ترتیب برابر با ۱۲۲۹ و هفت هستند.

۳-۲- سناریوی دوم شبیه‌سازی

(جدول۲) شرایط شبیه‌سازی سناریوی دوم را نشان می‌دهد.

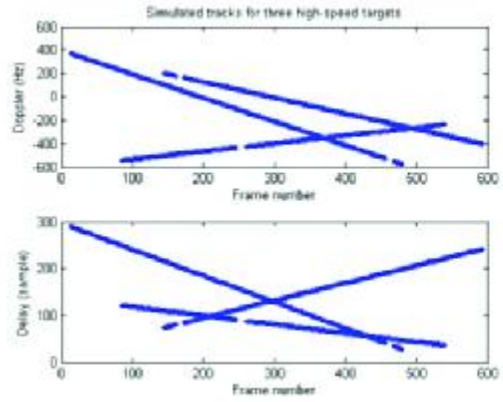
(جدول۲): مشخّصات سناریوی دوم شبیه‌سازی

ویژگی	مقدار	ویژگی	مقدار
تعداد کل قالب‌های شبیه‌سازی	۵۲۳۰۵	بیشینهٔ اختلاف بزرگی سلول‌های اهداف (بدون اثر نوفه)	۴۰٪
بیشینه اهداف همزمان	۳هدف	محدوده نسبت سیگنال به کلاتر و نوفه (دسیبل)	(۱۲-) تا (۲۴-)
میانگین نرخ تغییر داپلر اهداف بر قالب (نمونه بر قالب)	هدف۱: ۰/۰۷	درصد مشاهدات گمشده	هدف۱: ٪۱۰
	هدف۲: ۰/۰۳		هدف۲: ٪۱۰
	هدف۳: ۰/۱۱		هدف۳: ٪۱۰
میانگین نرخ تغییر داپلر اهداف بر قالب (هرتز بر قالب)	هدف۱: ۱/۰۲	هالهٔ همسایگی هر هدف در محورهای تأخیر و داپلر (سلول)	تأخیر: ۴ ± داپلر: ۳ ±
	هدف۲: ۰/۸۹		
	هدف۳: ۱/۲۴		

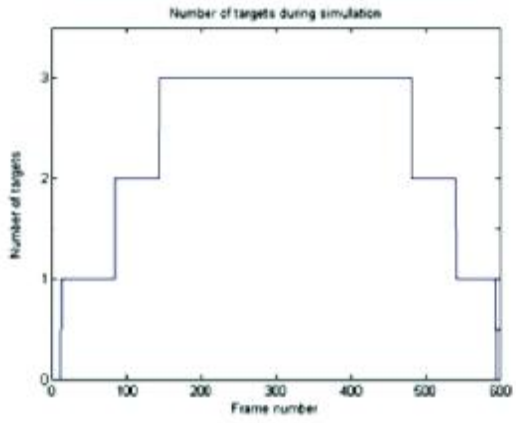
در این سناریو، سه هدف با حرکت کُند، شبیه‌سازی شدند که منحنی حرکت آنها در صفحهٔ دوبُعدی تأخیر داپلر در (شکل ۳) ملاحظه می‌شود. تعداد اهداف در این سناریو نیز در طی شبیه‌سازی همانند (شکل۱- ب) از سناریوی اوّل است. نمونه‌ای از توابع ابهام این سناریو در (شکل۴) ملاحظه می‌شود. این تابع ابهام در یک SCNR میانی برابر با شانزده- دسیبل شبیه‌سازی شده و متناظر با قالب ۳۷۴ از رد نشان داده شده در (شکل ۳) است. (شکل‌های ۵- الف و ۵- ب) رد اهداف یافت‌شده توسط نرم‌افزار مبتنی بر روش این مقاله و مبتنی بر ACM ، را نشان می‌دهند. برای نتیجهٔ نشان‌داده‌شده در (شکل ۵- الف) از ۱۲۵۶ قلّهٔ مربوط به اهداف سه‌گانه در طی ششصد قالب، ۱۲۳۷ قلّه به‌درستی آشکارشده و هشت آشکارسازی نادرست نیز انجام شده است. این مقادیر برای الگوریتم ACM که در (شکل ۵- ب) نشان‌داده‌شده است به‌ترتیب برابر با ۱۱۸۳ و ۲۶ هستند.

[1]. Missed

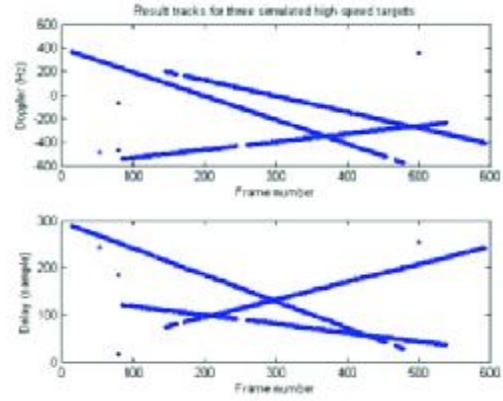
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-18]



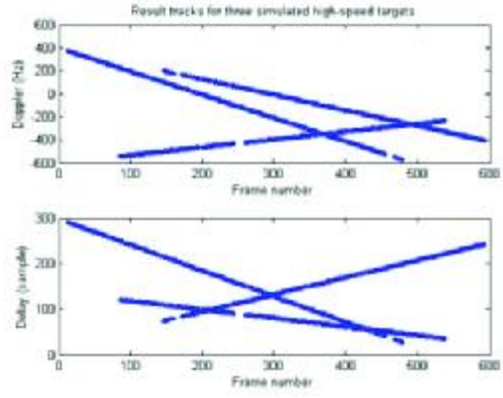
(شکل۱-الف): ردهای اصلی اهداف سریع در سناریوی اوّل



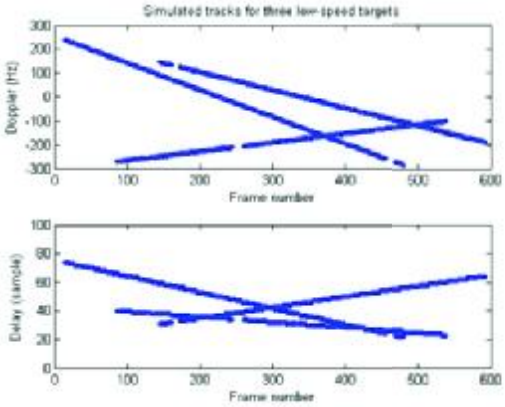
(شکل۱-ب): نحوهٔ تغییر تعداد اهداف طی شبیه‌سازی



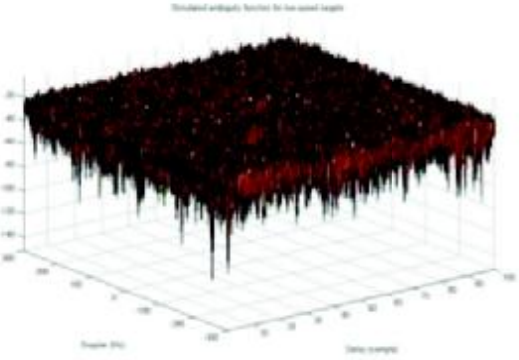
(شکل۲- الف): نمونه‌ای از نتایج آشکارسازی اهداف سریع با استفاده از روش پیشنهادی این مقاله



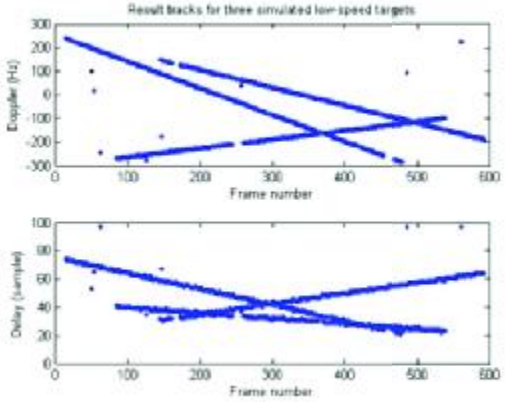
(شکل۲- ب): نمونه‌ای از نتایج آشکارسازی اهداف سریع با استفاده از روش ACM



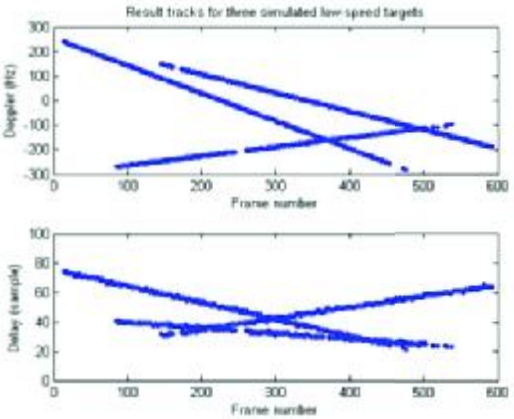
(شکل۳): ردهای اصلی اهداف کند در سناریوی اوّل



(شکل۴): تابع ابهام برای قالب ۳۷۴ از (شکل ۳)



(شکل۵-الف): نمونه‌ای از نتایج آشکارسازی اهداف کُند با استفاده از روش پیشنهادی این مقاله



(شکل۵-ب): نمونه‌ای از نتایج آشکارسازی اهداف کند با استفاده از روش ACM

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-18]

۴- تفسیر نتایج

دو نوع اساسی از اهداف متحرک با نحوهٔ حرکت کُند و تند در شبیه‌سازی‌ها به‌طور جداگانه بررسی شدند. در هر نوع حرکت نیز به‌طور بیشینه سه هدف به‌طور هم‌زمان ظاهر شده‌اند. بر اساس آنچه در (شکل‌های ۱و ۳) نشان داده شده است، نحوهٔ حرکت نسبی این اهداف، هم شامل مسیر حرکت موازی و هم مسیر حرکت متقاطع بوده است. به‌منظور انجام مقایسه، علاوه‌بر روش پیشنهادی این مقاله روش ACM از میان روش‌های موجود انتخاب شده و تمامی آزمون‌ها برای هر دوی این روش‌ها انجام پذیرفت. نتایج به‌دست آمده نشان دادند که اگرچه هر دو الگوریتم فوق قابلیت آشکارسازی هدف را در سناریوها داشته‌اند، امّا این الگوریتم‌ها در شرایط با کلاتر و نوفه مختلف عملکردهای متفاوتی از خود نشان داده‌اند. لذا برای ارزیابی این عملکردهای متفاوت، شبیه‌سازی در SCNRهای مختلف انجام شد. در هر شبیه‌سازی و برای هر دو الگوریتم، ردهای آشکارشده با ردهای اصلی شبیه‌سازی مقایسه شدند. به‌عنوان معیار این مقایسات نیز از دو پارامتر احتمال آشکارسازی P_D و احتمال هشدار غلط P_{fa} که در بخش دوم این مقاله معرفی شدند، استفاده گردید. این دو پارامتر به‌منظور سنجش عملکرد آشکارسازی در اغلب تحقیقات مرتبط با رادار استفاده شده‌اند. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها در (جدول ۳) آمده‌اند. نتایج فوق گویای این هستند که روش پیشنهادی این مقاله در هر دو سناریو و برای تمام SCNR های آزموده شده نسبت به روش موجود ACM برتری قابل ملاحظه‌ای از خود نشان می‌دهد.

بررسی نتایج سناریوی اوّل نشان می‌دهد که در مقادیر بالای SCNR تفاوت چندانی میان نتایج حاصل از روش پیشنهادی و روش ACM وجود ندارد، به‌گونه‌ای که در SCNR برابر با دوازده- دسیبل روش پیشنهادی تنها ۱/۲ درصد بهتر از ACM آشکارسازی را انجام می‌دهد و لیکن در SCNRهای پایین، روش پیشنهادی نسبت به ACM برتری بیشتری می‌یابد به گونه ای که در SCNR برابر با ۲۱- دسیبل می‌توان دوازده درصد بهبود را در آشکارسازی روش پیشنهادی این مقاله نسبت به ACM ملاحظه کرد. همین وضعیت به‌نحو چشمگیرتری در سناریوی دوم و آشکارسازی اهداف کُند، ملاحظه می شود. بر اساس آنچه در (جدول۳) دیده می‌شود، در این سناریو حتّی در بالاترین SCNR نیز روش پیشنهادی ۴/۲ درصد بهتر از ACM آشکارسازی انجام می‌دهد.

(جدول۳): مقایسه عملکرد روش پیشنهادی و روش ACM در مقادیر مختلف نوفه و کلاتر (SCNR)

SCNR (dB)	روش	سناریوی اوّل (اهداف سریع)		سناریوی دوم (اهداف کند)	
		احتمال آشکار سازی (درصد)	احتمال هشدار غلط $\times 10^{-4}$	احتمال آشکار سازی (درصد)	احتمال هشدار غلط $\times 10^{-4}$
-۱۲	ACM	۹۸/۸	۰	۹۵/۸	۰
	روش پیشنهادی	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰
-۱۵	ACM	۹۸/۳	۵/۵	۹۴/۱	۶/۲
	روش پیشنهادی	۹۹/۵	۲/۴	۹۷/۷۵	۳
-۱۸	ACM	۹۳/۱	۳/۱	۸۸/۵	۳
	روش پیشنهادی	۹۷/۱	۲/۳	۹۷/۶	۲/۲
-۲۱	ACM	۷۳/۷	۱/۷	۶۹	۲/۸
	روش پیشنهادی	۸۶/۱	۱/۷	۹۴/۶	۱/۲
-۲۴	ACM	۷۲/۸	۱/۷	۶۹	۲/۴
	روش پیشنهادی	۷۶/۹	۲/۰۸	۸۸/۹	۲/۹

امّا در SCNRهای پایین برتری روش پیشنهادی نسبت به ACM در این سناریو نسبت به سناریوی اوّل به‌شدّت افزایش می‌یابد، به‌گونه‌ای که در SCNR برابر با ۲۱- دسیبل می‌توان بیش از ۲۵ درصد بهبود را در آشکارسازی روش پیشنهادی این مقاله نسبت به ACM ملاحظه کرد. مقدار اخیر، بیش از دو برابر بهبودی است که در همین SCNR در سناریوی اهداف سریع به‌دست آمده بود. در مورد احتمال هشدار غلط نیز جدول اخیر، به‌خوبی نشان می‌دهد که پارامتر اخیر در حالات مختلف، برای هر دو روش پیشنهادی و ACM در یک حدّ بوده و تفاوت معنی داری را نشان نمی‌دهد و این بدان معناست که افزایش چشم‌گیر در آشکارسازی به‌وسیلهٔ روش پیشنهادی این مقاله نه تنها به بدترشدن پارامتر هشدار غلط منجر نشده است، بلکه در اغلب موارد آن را اندکی نیز بهبود داده است.

علاوه‌بر دقّت حاصل از روش پیشنهادی پارامتر دیگری که در مقایسهٔ آن با سایر روش‌ها می‌تواند مؤثر باشد، سرعت اجرای آن است. مقایسهٔ متوسط سرعت اجرای نرم‌افزار مبتنی بر روش‌های پیشنهادی و ACM برای تابع ابهام یک قالب در (جدول۴) انجام پذیرفته است. زمان‌های فوق برای اجرای الگوریتم‌ها روی یک رایانه با پردازنده از نوع Intel Core i7 870 و با رم های جمعاً به حجم 4GB و از نوع Kingston 1GB DDRII 667 به دست آمده اند.

(جدول۴): زمان اجرای روش‌های پیشنهادی و ACM برای پردازش تابع ابهام حاصل از یک قالب

روش	زمان اجرا (ثانیه)
روش پیشنهادی	۰/۲
روش ACM	۰/۱۳

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-18]

بر این اساس ملاحظه می‌شود که متوسط زمان اجرای روش پیشنهادی این مقاله در حدود ۱/۵ برابر زمان اجرا برای الگوریتم ACM بوده است. این مقدار بیان‌گر آن است که بهبود قابل ملاحظه در دقّت روش پیشنهادی (مطابق آنچه در مقایسه‌های جدول ۳ دیدیم) به بهای افزایش حجم پردازشی آن حاصل شده است. باید توجّه داشت که با توجّه به این که زمان‌های مزبور مربوط به اجرای بستهٔ نرم‌افزاری MATLAB بوده و اختلاف آنها فقط به‌میزان ۰/۰۷ ثانیه است، لذا حجم به‌نسبه بیشتر پردازش الگوریتم پیشنهادی مانع از اجرای بلادرنگ آن در پیاده‌سازی عملی نخواهد شد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله روشی جدید برای تخمین همزمان تأخیر و داپلر ناشی از اهداف متحرک غیر هم‌توان در تابع ابهام ارایه شد. در این روش ابتدا هر سلول از تابع ابهام در قالب یک فرآیند تصادفی مدل شده و با بررسی احتمالات ناشی از این فرآیند تصادفی، سلول مورد نظر به هدف و یا کلاتر منتسب گردید. با استفاده از مدل‌سازی تصادفی فوق، تابع ابهام به نواحی با احتمال شمول هدف و نواحی با احتمال شمول کلاتر افراز شد. سپس با انجام پردازش‌های مکانی مبتنی بر ناحیه‌بندی تصاویر، اهداف مجزا از میان نواحی افراز شده از پردازش آماری استخراج شدند.

به‌منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی این مقاله، روش فوق به همراه روش متداول ACM پیاده‌سازی و طی دو سناریو شامل در جمع ۱۰۳۸۴۰ قالب بر روی دادگان حاصل از شبیه‌سازی اهداف در دو نوع اهداف کند و سریع آزموده شدند. شبیه‌سازی‌ها به‌ازای مقادیر مختلف نوفه و کلاتر انجام پذیرفت، به‌گونه‌ای که نسبت سیگنال به کلاتر و نوفه در قالب‌های پیش‌گفته محدوده‌ای از ۱۲- تا ۲۴- دسیبل را شامل می‌گردید. در هر سناریو اهدافی که با هر یک از دو روش فوق آشکار شده‌اند، با اهداف اصلی شبیه‌سازی مقایسه شده و احتمالات آشکارسازی و هشدارغلط برای هر دو روش در مقادیر مختلف SCNR حاصل گردیدند. نتایج به‌دست آمده از این آزمون‌ها حاکی از آن هستند که روش پیشنهادی این مقاله توانسته است آشکارسازی بهتری را نسبت به روش ACM در کلیهٔ شرایط انجام دهد. این بهبود در شرایط حضور نوفه و کلاتر قوی که باعث اُفت SCNR می‌شوند، چشم‌گیرتر بوده است. در آشکارسازی اهداف تند برتری روش پیشنهادی نسبت به روش ACM در SCNRهای بالا بیشینه به ۱/۲ درصد می‌رسید درحالی‌که برای همین اهداف در SCNRهای پایین بیشینه بهبود دوازده درصد توسط روش پیشنهادی ملاحظه شد. از طرفی نتایج شبیه‌سازی‌های مزبور به‌خوبی نشان دادند که بهبود حاصل از روش پیشنهادی این مقاله در ردیابی اهداف کُند بسیار قابل ملاحظه‌تر بوده است. این بهبود برای اهداف کند در مقادیر SCNR بالا بیشینه به ۴/۲ درصد و در SCNRهای پایین به ۲۵ درصد بالغ گردیده است که بیش از دو برابر بهبود را نسبت به آنچه در اهداف سریع بود، نشان داده است. سرانجام باید به این نکتهٔ مهم توجّه کرد که بهبودهای فوق در آشکارسازی با روش پیشنهادی این مقاله باعث ایجاد تغییر معنی‌داری در پارامتر احتمال هشدار غلط نگردیده است. بنابراین می‌توان روش پیشنهادی این مقاله را به‌عنوان یک شیوهٔ مناسب برای آشکارسازی اهداف در رادارهای مبتنی بر تابع ابهام، به‌خصوص در محیط‌های با نوفه و کلاتر قوی مورد استفاده قرار داد.

۶- منابع

Daojing, L., Guilong, Y., 2001. 2D-OS-CFAR detector for cloud clutter suppression, Proceedings International Conference on Radar, pp.350-353, Beijing, China.

Degroot, M., Schervish, M., 2002. Probability and Statistics, Boston: Addison-Wesley Pub. Co.

Dzvonkovskaya, A., Gurgel, K., Rohling, H., Schlick, T., 2008. Low power high frequency surface wave radar application for ship detection and tracking, Proceedings of International Conference on Radar, pp. 627-632, Hamburg, Germany.

Ebrahimian, Z., 2005. Complex spatial temporal CFAR, Proceedings of IEEE/ACES International Conference on Wireless Communications and Applied Computational Electromagnetic, pp.1045-1049, Hawaii, USA.

Jangal, F., Saillant, S., Helier, M., 2009. Inospheric clutter mitigation using one-dimensional or two-dimensional wavelet processing, IET Radar Sonar Navigation, Vol. 3, No. 2, pp. 112-121.

Jiangun, C., Mengjun, H., Fu, Q., 2010. A novel CFAR detector for terminal guidance coherent radar, Proceedings of IEEE 10th International Conference on Signal Processing, pp. 2253-2256, Beijing, China.

Magraner, N., Bertaux, E., Refregier, P., 2010. Detection in gamma-distributed non-homogeneous backgrounds, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems., Vol. 64, No. 3, pp. 1127-1139.

Mingyan, C., Jianmin, X., Wei, Z., Xuegang, W., 2008. Study on simulation of signal processing system of space surveillance radar, Proceeding of

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-18]

International on Radar, pp. 474-477, Adelaide, Australia.

Musicki, D., Suvorova, S., Morelande, M., Moran, B., 2005. Clutter map and target tracking, Proceedings of 8th International Conference on Information Fusion, pp. 69-76, Philadelphia, USA.

Myung, I., 2003. Tutorial on maximum likelihood estimation, Journal of Mathematical Psychology, Vol. 47, pp. 90-100.

Nitzberg, R., 1986. Clutter map CFAR analysis, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol.AES-22, No. 4, pp. 419-421.

Leung, H., Dubash, N., Xie, N., 2002. Detection of small clutter using GA-RBF neural network, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol.38, No.1, pp. 98-118.

Li, Y., Zhang, N., Yang, Q., 2009. Detection scene analysis for high frequency radar, Proceedings of IEEE Youth conference on Information Computing and Telecommunication, pp. 315-318, Beijing, China.

Lin, C., Sano, M., Sayama, S., Sekine, M., 2000. Detection of radar targets embedded in sea ice and sea clutter using fractals, wavelets and neural networks, IEICE Transactions on Communications, Vol.E83B, No.9, pp.1916-1929.

Lops, M., 1996. Hybrid clutter map/L-CFAR procedure for clutter rejection in non-homogeneous environment, IEEE Proceedings on Radar Sonar and Navigation, Vol. 143, No. 4, pp. 239-245.

Rohling, H., 1993. Radar CFAR thresholding in clutter and multiple target situations, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol.AES-19, No. 4, pp.608-621.

Shapiro, L., Haralick, R., 1992. Computer and Robot Vision, Boston: Addison-Wesley Pub Co.

Turley, M., 1997. Hybrid CFAR techniques for HF radar, Proceedings of Radar Conference, pp. 36-40, Edinburg, UK.

Vito, A., Moretti, G., 1989. Probability of false alarm in CA-CFAR device downstream from linear-law detector, Electronics Letters, Vol.25, pp.1692-93.

Watts, S., 1991. Special issue on radar clutter and multipath propagation, IEE Proceedings of Radar and Signal Processing, Vol. 138, No. 2, pp. 890-800.

Wei, J., Weibo, D., 2009. Characteristic study of ionospheric clutter in high frequency over the horizon surface wave radar, Proceedings of IEEE Youth conference on Information Computing and Telecommunication, pp. 154-157, Beijing, China.

Xiangwei, M., 2010. Performance analysis of Nitzberg's clutter map for weibull distribution, Digital Signal Processing, Vol. 20, pp. 916-922.

Xiangwei, M., Fuyong, Q., 2010. Adaptive clutter map detector in non-homogeneous environment, Proceedings of IEEE 10th International Conference on Signal Processing, pp. 2231-34, Beijing, China.



سید وهاب شجاع الدینی

تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی مخابرات در سال ۱۳۷۷ در دانشگاه صنعتی امیرکبیر و در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی بیوالکتریک به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ در دانشگاه تربیت مدرس به پایان رسانده است. وی هم اکنون استادیار گروه مخابرات و فنّاوری‌های فضایی پژوهشکدهٔ مهندسی برق و فنّاوری اطّلاعات سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران می‌باشد. نامبرده قبل از پیوستن به سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران با تعدادی از مراکز تحقیقاتی و صنعتی از جمله پژوهشکدهٔ فنّاوری اطّلاعات دانشگاه تربیت مدرس و سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران همکاری داشته است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقهٔ ایشان عبارتند از: پردازش سیگنال و تصویر، فرآیندهای تصادفی، تئوری آشکارسازی، محاسبات نرم و کاربردهای آن، بازشناسی الگو و فیلترهای وفقی.

نشانی رایانامک ایشان عبارت است از :

shojadini@irost.ir



رحمان کبیری تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات به‌ترتیب در دانشگاه علم و صنعت ایران و دانشکدهٔ فنی دانشگاه تهران به پایان رساند. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقهٔ ایشان عبارتند از: پردازش سیگنال و تئوری آشکارسازی.

نشانی رایانامک ایشان عبارت است از :

pardazinfo@gmail.com

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-18]