مجله علمی پژوهشی «علوم و فناوری‌های پدافند نوین»
سال هشتم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶؛ ص۲۷۴-۲۶۵

استخراج مدل نقطه‌ای اهداف گسترده با استفاده از تصویر راداری SAR

مجتبی بهزاد فلاح‌پور[۱]، حمید دهقانی[۲]، علی جبار رشیدی[۳*]، عباس شیخی[۴]
۱- دانشجوی دکتری، ۲ و ۳- دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران، ۴- استاد، دانشگاه شیراز
(دریافت: ۹۵/۰۹/۱۲، پذیرش: ۹۵/۱۱/۳۰)

چکیده

برای تحلیل میدان پراکندگی از اهداف، دیدگاه‌های مختلفی وجود دارد اما در عمل معمولاً اهداف گسترده‌ای وجود دارند که محاسبه پاسخ پراکندگی برای آن‌ها بسیار پیچیده است. برای حل این مشکل و سادگی محاسبات از مدل نقطه‌ای اهداف استفاده می‌شود. منظور از مدل نقطه‌ای، جایگزینی هدف با تعدادی نقاط متناهی است که در همسایگی خود از منظر سطح مقطع راداری غالب محسوب می‌شوند. این نقاط که مراکز پراکندگی یا فاز گفته می‌شوند، از منظر سطح مقطع راداری بیشینه محلی هستند و در بسیاری از کاربردهای عملی چون تصویربرداری راداری از اهداف، تحلیل میدان پراکندگی، استخراج سازوکارهای پراکندگی موجود در هدف، فناوری Stealth و رادار گریزی، سنجش از دور، پدافند غیرعامل و ... مؤثر هستند. در این مقاله تلاش می‌شود تا مدل نقطه‌ای اهداف گسترده و پیچیده با استفاده از تصویر راداری SAR آن‌ها استخراج شود. برای این منظور دو مرحله تولید تصویر و استخراج نقاط غالب در روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است و کلیه شبیه‌سازی‌ها در محیط‌های نرم‌افزاری متلب و CST انجام گرفته است.

کلیدواژه‌ها: SAR، مدل نقطه‌ای، اهداف گسترده، میدان پراکندگی، پدافند غیرعامل

Extraction of Point Target Model of Distributed Targets Using SAR Images

M. B. Fallahpour, H. Dehghani, A. J. Rashidi*, A. Sheikhi
Malek Ashtar University of Technology, Tehran
(Received: 02/12/2016; Accepted: 18/02/2017)

Abstract

Different approaches have already been proposed for the analysis of the scattering field of targets. However, in practice, there are numerous targets for which, the calculation of the dispersion analysis is highly complex. To solve this problem, point target model is taken into account. This model aims to replace the target with a finite number of points that are dominant in their vicinity in terms of the radar cross section. These points, which are called scattering center or phase center, are local maximum in terms of the radar cross section and are effective in many practical applications such as radar imaging of targets, analysis of the dispersion, extraction of the target scattering mechanisms, Stealth technology, remote sensing, passive defence, etc. The present study is an attempt to extract the point target model for the complex, distributed targets using SAR image. For this purpose, image production and extraction of the dominating points have been conducted in two stages. All the simulations have been performed in MATLAB and CST software environments

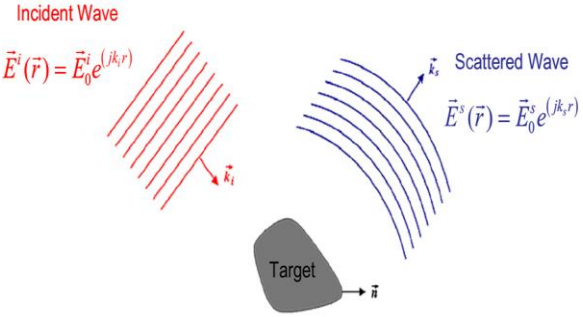
Keywords: SAR, Point Target Model, Distributed Target, Scattering Field, Passive Defence

* Corresponding Author E-mail: aiorashid@yahoo.com

۱. مقدمه

در سازوکار عملکردی رادار، امواج به سمت هدف مورد نظر ارسال شده و سپس بازگشت آن‌ها توسط رادار دریافت و تحلیل می‌شوند (شکل (۱)) و بدین ترتیب اطلاعات زیادی چون فاصله هدف، سرعت هدف، ارتفاع هدف، جنس هدف، ... و درنهایت تصویر هدف استخراج می‌گردد [۱].

موج بازگشتی از اهداف که میدان پراکندگی نیز نامیده می‌شود، با دیدگاه‌های مختلفی تحلیل می‌شود. هر کدام از این تحلیل‌ها دارای مزیت‌ها و محدودیت‌هایی هستند و بسته به ابعاد، شکل و میزان پیچیدگی اهداف دارای کاربرد ویژه‌ای هستند (جدول (۱)).



شکل ۱. سازوکار عملکردی رادار [۷]

جدول ۱. دیدگاه‌های مختلف برای تحلیل میدان پراکندگی [۸-۱]

دیدگاه تحلیلی	مزایا	معایب	کاربرد
دقیق	دقت زیاد	پیچیدگی محاسبات	اشکال هندسی بسیار ساده با ابعاد کوچک
عددی	دقت خوب	حجیم بودن محاسبات	اشکال هندسی ساده و اهداف کوچک
مجانبی	سادگی محاسبات	محدودیت دقت	اهداف دارای سطوح انحنای نرم با ابعاد بزرگ
مدل‌سازی مراکز پراکندگی	سادگی محاسبات	محدودیت دقت	اهداف پیچیده بزرگ و یا اهداف توزیع شده
زمان-فرکانس	تحلیل حوزه زمان و فرکانس به طور یکجا	وابستگی دقت به عرض پنجره زمانی	فرکانس‌های تشدید اهداف
پاسخ گذرا	مستقل از زاویه مشاهده	وابستگی دقت به سطح سیگنال به نویز	فرکانس‌های تشدید طبیعی اهداف پیچیده بزرگ

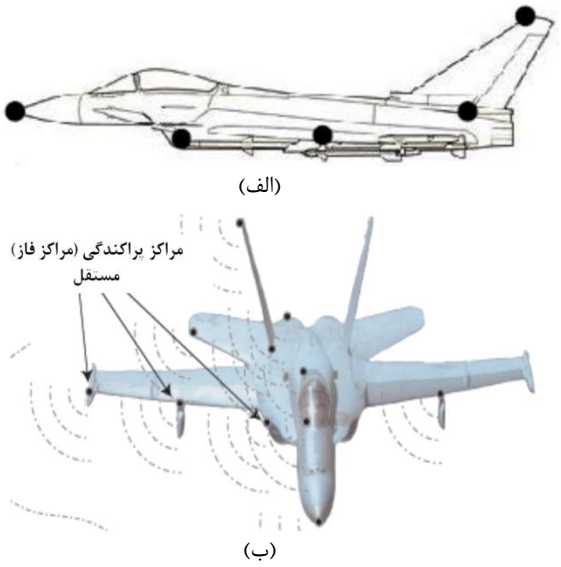
به عنوان مثال در بسیاری از کاربردهای عملی، هدف‌ها به صورت گسترده[1] و پیچیده هستند. بنابراین، محاسبه پاسخ پراکندگی آن‌ها به روش تحلیلی دقیق دشوار است و برای محاسبه پاسخ پراکندگی آن‌ها از مدل‌سازی مراکز پراکندگی که به مدل نقطه‌ای[2] معروف است (جدول (۲))، استفاده می‌شود [۲ و ۳]. منظور از مدل نقطه‌ای اهداف، جایگزینی آن‌ها با تعدادی نقاط غالب از منظر سطح مقطع راداری[3] است که به این نقاط، مراکز پراکندگی یا مراکز فاز گفته می‌شود. به عنوان مثال، می‌توان به جای هواپیما از مدل نقطه‌ای آن استفاده کرد (شکل (۲)). نقاط نشان داده شده در شکل (۲) از سطح مقطع راداری بالایی در مقایسه با نقاط همسایگی خود برخوردارند، بنابراین در همسایگی خود غالب محسوب شده و می‌توان از بقیه نقاط در مقایسه با آن‌ها چشم‌پوشی کرد. به عبارت دیگر به جای اینکه کل هواپیما از منظر پراکندگی مورد تحلیل واقع شود، پراکندگی از این نقاط مورد بررسی قرار می‌گیرد و این کار به مراتب ساده‌تر از تحلیل کل هواپیما است [۴].

هدف اصلی این مقاله استخراج مدل نقطه‌ای از اهداف پیچیده است. برای به‌دست آوردن مدل پراکندگی نقطه‌ای اهداف در محدوده فرکانس بالا (نوری) روش‌های متعددی وجود دارد که برخی از آن‌ها در زمره روش‌های با قدرت تفکیک پایین و برخی در گروه روش‌های با قدرت تفکیک بالا قرار دارند. به عنوان مثال روش‌های مبتنی بر فرکانس‌های تشدید طبیعی مختلط (CNR[4]) که در آن‌ها تابع تبدیل یا پاسخ ضربه پراکندگی کلی هدف (مختلط) استخراج می‌شود جزو روش‌های با قدرت تفکیک کم می‌باشند و استخراج نیم‌رخ مسیر راداری یک بعدی که پاسخ پراکندگی به تفکیک اجزای تشکیل دهنده هدف (مختلط) را استخراج می‌کند جزو روش‌های مبتنی بر قدرت تفکیک بالا هستند [۵]. در این مقاله پاسخ پراکندگی به تفکیک اجزای تشکیل دهنده هدف (مختلط) در دو بعد، به وسیله تصویربرداری راداری دهانه مصنوعی[5] (SAR) استخراج می‌شود.

سامانه SAR یک سامانه تصویربردار راداری است که تصویر دو بعدی هدف را در دو جهت برد[6] و سمت[7] استخراج می‌کند. از آنجایی که تصاویر SAR به صورت استخراج نیم‌رخ سطح مقطع راداری المان‌های سطحی یا حجمی در طول موج مایکروویو

[1] Distributed Target
[2] Pointing Model
[3] Radar Cross Section (RCS)
[4] Complex Natural Response(CNR)
[5] Synthetic Aperture Radar (SAR)
[6] Range
[7] Azimuth

تعریف می‌شوند، می‌توانند منبع خوبی برای تشخیص مراکز پراکندگی باشند [۱ و ۶]. بنابراین روش پیشنهادی از دقت و اطمینان بسیار بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است و بدین ترتیب امکان استخراج مشخصه‌ای یکتا از اهداف معلوم در محدوده پراکندگی فرکانس بالا به وجود می‌آید. از مهم‌ترین ویژگی‌های روش پیشنهادی در این مقاله، استخراج سه پارامتر مختصات نقاط غالب، شکل نقاط غالب و سطح مقطع راداری نقاط غالب است.



شکل ۲. الف و ب) جسم گسترده (هواپیما) به همراه مدل نقطه‌ای آن [۶ و ۷]

بسته به بزرگ‌ترین بعد جسم (طول، عرض و یا ارتفاع) (D) و همچنین طول موج کاری رادار (λ) سه محدوده پراکندگی تعریف می‌شود که هر کدام دارای کاربرد و خصوصیات مخصوص به خود هستند. این سه محدوده عبارتند از: رایلی[1]، نوری (فرکانس بالا) و تشدید. در محدوده رایلی با $D \leq \lambda$، سطح مقطع راداری بیشتر وابسته به حجم اهداف است تا شکل آن‌ها و معمولاً در محاسبه پراکندگی قطرات باران، پراکندگی ذرات معلق در هوا از این محدوده استفاده می‌شود. در محدوده نوری با $D \gg \lambda$، سطح مقطع راداری به شدت وابسته به شکل هدف، فرکانس و زاویه مشاهده هدف است و سطح مقطع راداری کل به صورت برآیند نقاط مشخصی از هدف ظاهر می‌شود (مراکز پراکندگی) و در محاسبه پراکندگی از اهداف پیچیده مانند خودرو، هواپیما و کشتی کاربرد دارد. درنهایت در ناحیه تشدید که در آن $D \approx \lambda$ است، انواع سازوکارهای پراکندگی پیچیده مانند امواج خزنده[2] ظاهر می‌شوند.

علاوه بر محدوده‌های پراکندگی، سازوکارهای پراکندگی مختلفی نیز وجود دارند که مهم‌ترین آن‌ها بازتاب (بازتابش، انعکاس)[3] و پخش (تفرق، پراش یا انکسار)[4] هستند [۸]. در شکل (۳) مراکز پراکندگی به همراه انواع سازوکارهای پراکندگی از یک کشتی مشاهده می‌شود.

با توجه به موارد بالا می‌توان نتیجه گرفت که حوزه کاری، محدوده پراکندگی فرکانس بالا یا نوری است زیرا تنها در این محدوده مجاز به استخراج مدل نقطه‌ای از اهداف هستید. در این محدوده، برای استخراج مراکز پراکندگی از اهداف گسترده باید به شکل آن‌ها توجه شود زیرا اهداف مختلف با توجه به شکلی که دارند در مقابل امواج راداری عکس‌العمل‌های متفاوتی خواهند داشت. به طوری که طبق قوانین بازتابش اسنل و با توجه به شکل (۴)، بعضی از آن‌ها مطابق یک شکل هموار عمل کرده (A) و تمامی امواج را بازتاب آینه‌ای می‌کنند. چنین اشکالی به صورت تیره در تصویر راداری دیده می‌شوند. به عبارت دیگر از سطح مقطع راداری پایینی برخوردارند در نتیجه مرکز پراکندگی محسوب نمی‌شوند. بعضی از آن‌ها به صورت سطوح ناهموار امواج را در جهت‌های مختلف بازتابش می‌کنند (B) که چنین سطوحی در تصویر SAR روشن‌تر دیده می‌شوند و بعضی هم مانند بازتاب‌کننده‌های گوشه‌ای[5] (C) قوی‌ترین امواج را به سمت رادار می‌فرستند که در تصویر رادار بسیار روشن دیده می‌شوند و به عنوان مرکز پراکندگی محسوب می‌شوند [۹ و ۱۰]. در نتیجه، ناپیوستگی‌های ساختاری یا هندسی بر روی سطح اهداف در محدوده پراکندگی فرکانس بالا به عنوان مراکز پراکندگی تلقی می‌شوند و این موضوع می‌تواند به عنوان یک معیار مهم در استخراج مراکز پراکندگی از اهداف پیچیده مطرح باشد.

۲. روش تحقیق

در این مقاله مدل نقطه‌ای اهداف گسترده بر اساس تصویر راداری اهداف استخراج شده است. زیرا طبق تعریف IEEE، «تصویر، یک توزیع مکانی از پدیده فیزیکی مانند: تشعشع، بار الکتریکی، هدایت الکتریکی یا انعکاس است که ناشی از توزیع دیگری از همان پدیده و یا پدیده‌ای دیگر بوده و به محیط تصویرسازی نگاشت شده است» [۷ و ۸]. بر این اساس، تصویر راداری نگاشت مکانی از توزیع جریان الکتریکی القایی در نقاط مختلف جسم (که همان مراکز پراکندگی هستند) به توزیع میدان راه دور آن نقاط

[1] Rayleigh
[2] Creeping Waves
[3] Reflection
[4] Diffraction
[5] Corner Reflector

تعریف شده و بدین ترتیب امکان استفاده از تصویر راداری اهداف برای استخراج مراکز پراکندگی به وجود آمده است.

روش پیشنهادی دارای دو مرحله است. در مرحله اول تصویر هدف به کمک تصویربرداری SAR استخراج می‌گردد و در مرحله دوم به استخراج مدل نقطه‌ای از هدف مورد نظر پرداخته می‌شود. برای استخراج تصویر در سامانه‌ی SAR نیاز است تا سه گام اساسی جمع‌آوری داده خام، تشکیل فضای سیگنالی و تشکیل فضای تصویری طی شود. منظور از جمع‌آوری داده خام به‌دست آوردن میدان پراکندگی از هدف مورد نظر در هر موقعیت از سمت است. همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است SAR ها در طول حرکت خود بارها و بارها سیگنالی را به سمت هدف می‌فرستند و بازگشتی آن‌ها را دریافت می‌کنند. منظور از فضای سیگنالی ماتریسی دو بعدی است که یک بعد آن سمت و بعد دیگر آن برد است و میدان پراکندگی جمع‌آوری شده که به صورت مختلط است در آن ذخیره می‌شود. از آنجایی که فضای سیگنالی از نظر بصری اطلاعات خاصی برای کاربر ندارد، فضای دیگری در سامانه‌های SAR تعریف می‌شود که به فضای تصویری معروف است. این فضا که در واقع بیانگر تصویر راداری هدف مورد نظر است الگوی رفتاری هدف را از منظر سطح مقطع راداری در دو جهت برد و سمت نشان می‌دهد. برای نگاشت از فضای سیگنالی به فضای تصویری از الگوریتم‌های مختلف تشکیل تصویر استفاده می‌شود [۱۱و۱۲].

در این مقاله برای انجام مرحله اول (استخراج تصویر راداری هدف) از ترکیب دو نرم‌افزار CST و متلب مطابق شکل (۶) استفاده شده است به گونه‌ای که جمع‌آوری داده خام در محیط نرم‌افزار CST و تشکیل فضای سیگنالی و تصویری در محیط نرم‌افزار متلب انجام شود. جزئیات بیشتر از مرحله اول در گام‌های زیر پیشنهاد شده است:

۱- مدل سه بعدی هدف در نرم‌افزار CST. برای این منظور هم می‌توان از قابلیت‌های نرم‌افزار CST استفاده کرد و هم با استفاده از سایر نرم‌افزارها چون Auto Cad مدل ایجاد شده را به عنوان ورودی به CST وارد نمود.

۲- ساخت سیگنال راداری در محیط نرم‌افزار CST و ارسال از سمت به سوی هدف در هر موقعیت.

۳- جمع‌آوری اکوی برگشتی و ذخیره در فضای سیگنالی ضمن انتقال از CST به متلب.

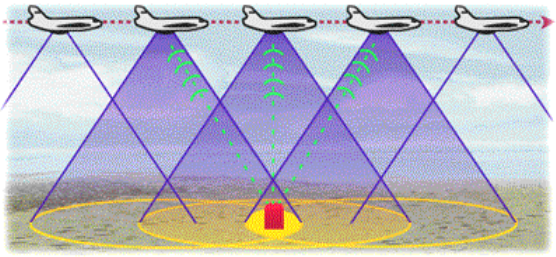
۴- تشکیل فضای تصویری با استفاده از اعمال الگوریتم تشکیل تصویر بر روی فضای سیگنالی.

مطابق این گام‌ها نمودار بلوکی پیشنهادی برای مرحله اول مطابق شکل (۷) ارائه شده است.

بعد از انجام مرحله اول، مرحله دوم اجرا می‌شود. در این مرحله دو گام زیر طی می‌شود و درنهایت مدل نقطه‌ای اهداف مطابق شکل (۸) استخراج می‌گردد:

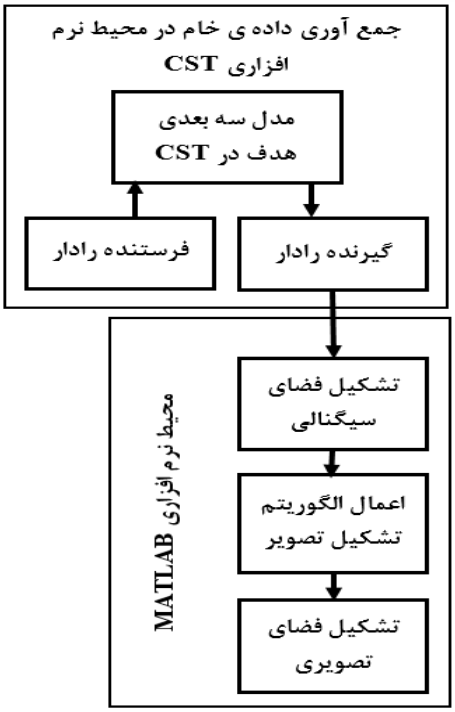
۱- استخراج نیم‌رخ مسیر راداری در دو جهت برد و سمت

۲- استخراج مختصات نقاط غالب، سطح مقطع راداری و شکل آن‌ها با تطبیق نقاط برجسته موجود از نیم‌رخ‌های استخراج شده در گام اول از مرحله دوم، با فضای تصویری تشکیل شده درگام چهارم از مرحله اول.

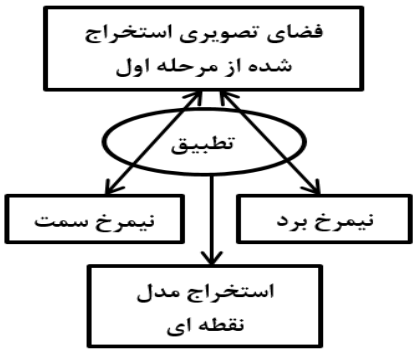


شکل ۵. نحوه عملکرد رادار SAR [۱۱]

شکل ۶. ساختار پیشنهادی برای پیاده‌سازی مرحله اول (مرحله تصویربرداری)



شکل ۷. نمودار بلوکی پیشنهادی برای مرحله اول



شکل ۸. نمودار بلوکی پیشنهادی برای استخراج مدل نقطه‌ای

۳. نتایج و بحث

قبل از انجام شبیه‌سازی نیاز است تا پیش‌فرض‌های در نظر گرفته شده در روش پیشنهادی که در واقع همان پیش‌فرض‌های موجود در محدوده پراکندگی فرکانس بالا هستند، به عنوان شرایط شبیه‌سازی بیان شوند. این شرایط عبارتند از:

۱- میدان راه دور

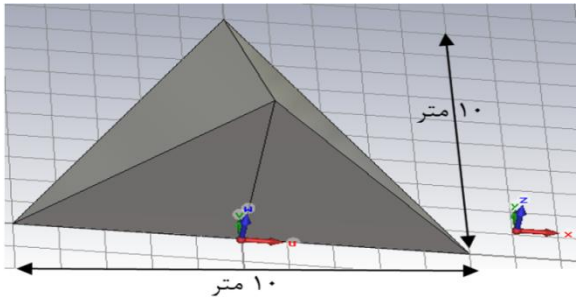
۲- بازه فرکانسی مشخص (تعداد محدود مراکز پراکندگی با محل قرارگیری ثابت) بازه زاویه‌ای مشاهده محدود

۳- نبود تزویج متقابل بین مراکز پراکندگی (لحاظ پراکندگی مرتبه اول)

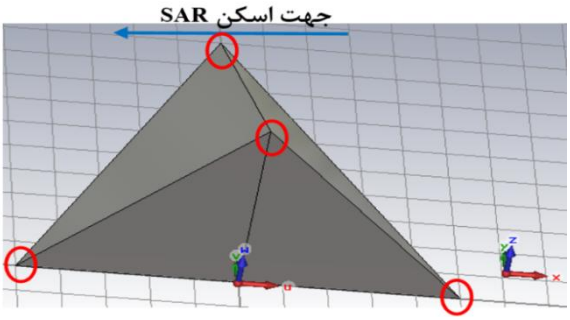
۴- چشم‌پوشی از رژیم پراکندگی تشدید

با اعمال این شرایط در نرم‌افزار CST، شبیه‌سازی انجام شده و مدل نقطه‌ای هواپیما به عنوان یک هدف پیچیده استخراج شده است. قبل از انجام شبیه‌سازی ابتدا صحت روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از یک سازه هرمی شکل مطابق شکل (۹- الف) استفاده شد. این سازه از سطوح هموار و شیب‌داری تشکیل شده است که در رأس‌ها به همدیگر می‌رسند. سطوح شیب‌دار موج را به جهت‌های دیگری (غیر از جهت تابش) متمایل می‌سازند در نتیجه رأس‌های سازه نقاط ناپیوستگی سازه محسوب می‌شوند که با توجه به معیار ارائه شده در بخش دوم، بیشترین موج را به سمت رادار برمی‌گردانند. بنابراین با توجه به شکل سازه، نقاط غالب، همان ناپیوستگی‌های موجود در گوشه‌های سازه هستند (شکل ۹- ب) و انتظار می‌رود که نتیجه شبیه‌سازی نیز تأیید کننده موضوع فوق باشد.

برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی سازه هرمی از یک SAR فرضی با مشخصات موجود در جدول (۲) استفاده شده است و پس از انجام مراحل اول و دوم، مدل نقطه‌ای سازه استخراج خواهد شد. برای این منظور ابتدا مدل سه بعدی هدف مطابق شکل (۹-الف) در محیط نرم‌افزار CST ایجاد شده، سپس با تاباندن موج به سمت سازه و دریافت آن در هر موقعیت از سمت و انتقال آن به محیط نرم‌افزار متلب فضای سیگنالی شکل گرفته و درنهایت با استفاده از الگوریتم تشکیل تصویر برد-داپلر[1] (RDA) [۱] فضای تصویری مطابق شکل (۱۰-الف) استخراج شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۹. الف) سازه هرمی شکل گرفته در محیط نرم‌افزار CST، ب) استخراج مدل نقطه‌ای از سازه هرمی بر مبنای ناپیوستگی‌های موجود در سازه

جدول ۲. مشخصات SAR فرضی برای تصویربرداری از سازه هرمی

مقدار	مشخصات
۰/۲۵ m	قدرت تفکیک برد
۱ m	قدرت تفکیک سمت
۱۰ GHz	فرکانس کاری
HH	پلاریزاسیون
۴۵ Deg	زاویه فرود (θ) (زاویه بین راستای موج و خط عمود بر زمین)
۹۰ Deg	زاویه اسکن ($\emptyset$) (جهت اسکن SAR در نرم‌افزار CST (شکل ۹-ب))

با استخراج فضای تصویری از سازه، مرحله اول به پایان رسیده و نوبت به انجام مرحله دوم می‌رسد. در این مرحله ابتدا نیم‌رخ‌های سازه در دو جهت سمت و برد مطابق شکل (۱۰- ب و ج) استخراج می‌شوند. سپس با تطبیق دادن این نیم‌رخ‌ها با فضای تصویری استخراج شده از گام اول، مدل نقطه‌ای از سازه مطابق شکل (۱۱) تشکیل می‌شود. همان‌طور که در شکل (۱۱) دیده

[1] Range Doppler Algorithm (RDA)

می‌شود حاصل تطبیق دقیقاً همان نقاطی است که انتظار می‌رفت و بدین ترتیب صحت روش پیشنهادی برای استخراج مدل نقطه‌ای از اهداف گسترده اثبات می‌شود.

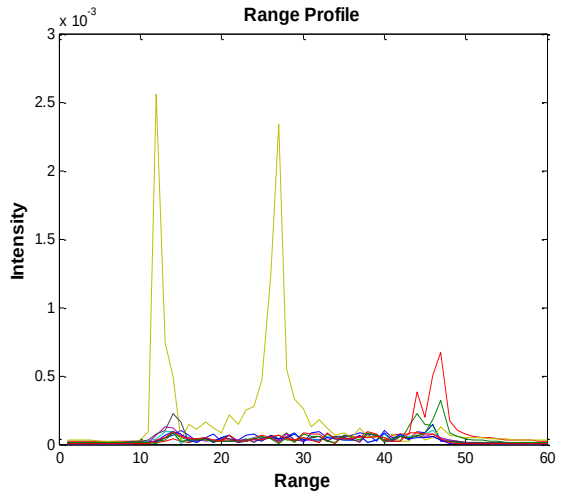
با اثبات صحت روش پیشنهادی برای استخراج مدل نقطه‌ای از اهداف گسترده می‌توان به سراغ یک شکل پیچیده رفت. این شکل، یک هواپیما است که ۱۴ متر طول (از دماغه تا انتها) و ۱۳/۷ متر عرض (از یک طرف بال تا بال روبه‌رو) دارد (شکل ((۱۲)).

مشخصات سامانه SAR که به استخراج تصویر از این هواپیما می‌پردازد مطابق مشخصات ماهواره RADARSAT است (جدول (۳)). بدین ترتیب با انجام مراحل اول و دوم، استخراج مدل نقطه‌ای از این هواپیما بررسی می‌شود. برای این منظور ابتدا مدل سه بعدی هدف مطابق شکل (۱۲) در محیط نرم‌افزار CST ایجاد شده و سپس مراحل اول و دوم بر روی آن پیاده شده و مدل نقطه‌ای آن مطابق شکل (۱۳) استخراج شده است.

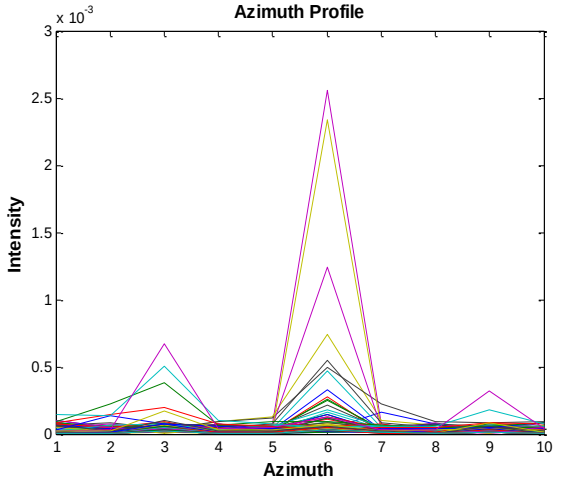
از آنجایی که نیم‌رخ‌های استخراج شده دو بعدی هستند این امکان به وجود می‌آید که با قطع نقاط برجسته موجود در نیم‌رخ‌ها با فضای تصویری، مختصات نقاط غالب (نقاط برجسته در تصویر) استخراج شوند. همچنین با توجه به شکل هدف در آن نقاط و میزان روشنایی آن‌ها می‌توان به استخراج شکل و سطح مقطع راداری مراکز پراکندگی نیز پرداخت.

جدول ۳. پارامترهای مختلف ماهواره RADARSAT-1 [۱]

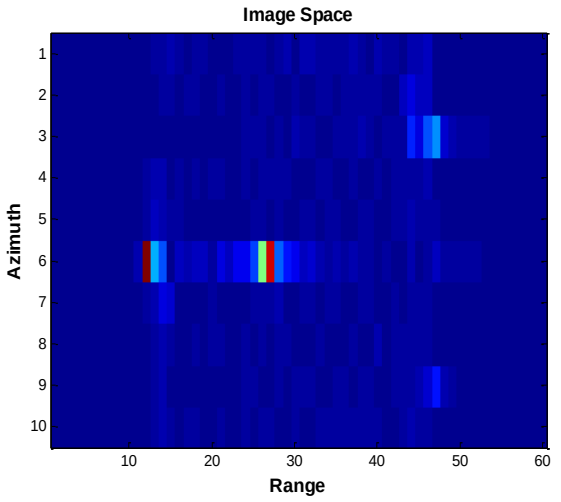
واحد	مقدار	نام پارامتر
MHz	۳۲/۳۱۷	نرخ نمونه‌برداری در جهت برد
MHz	۳۰/۱۱۱	پهنای باند پالس ارسالی
MHz	۰	فرکانس مرکزی پالس
MHz/ µs	۰/۷۲۱۳۵	نرخ چیرپ در جهت برد
ms	۶/۵۹۵۶	زمان برد نزدیک
µs	۴۱/۷۴	عرض پالس
GHz	۵/۳۰۰	فرکانس حامل رادار
m	۰/۰۵۶۵۷	طول موج رادار
Hz	۱۲۵۶/۹۸	PRF رادار
m/s	۷۰۶۲	سرعت مؤثر سکو
Hz/s	۱۷۳۳	نرخ چیرپ در جهت سمت
Hz	-۶۹۰۰	فرکانس داپلر مرکزی



(الف)

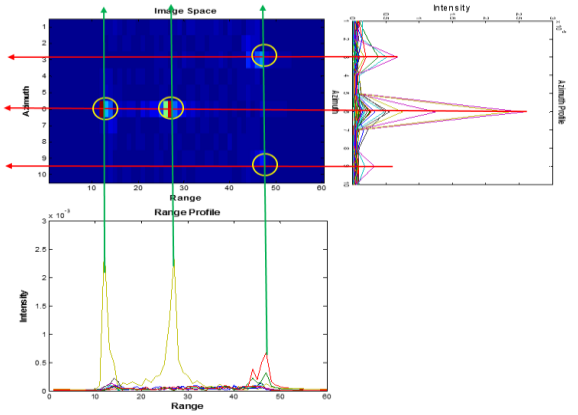


(ب)

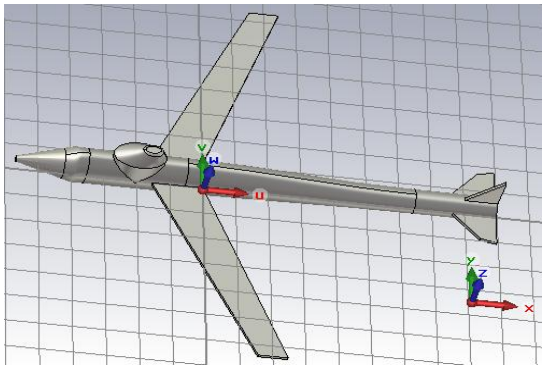


(ج)

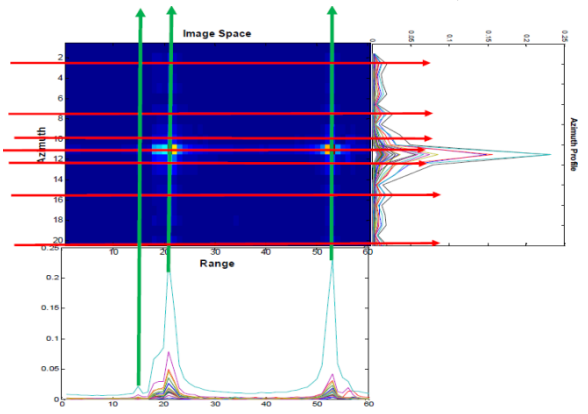
شکل ۱۰. الف) فضای تصویری مربوط به سازه هرمی. ب و ج) نیم-رخ‌های سازه در دو جهت سمت و برد



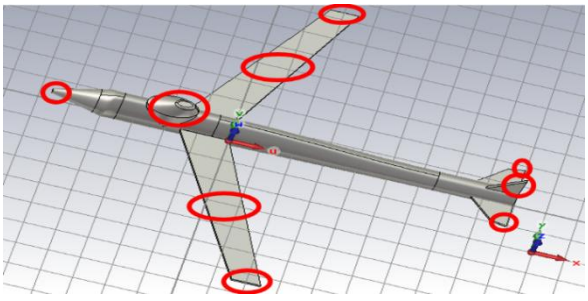
شکل ۱۱. تشکیل مدل نقطه‌ای از سازه هرمی توسط روش پیشنهادی در این مقاله



شکل ۱۲. ساخت مدل سه بعدی یک هواپیما در محیط نرم‌افزار CST به عنوان یک جسم گسترده و پیچیده



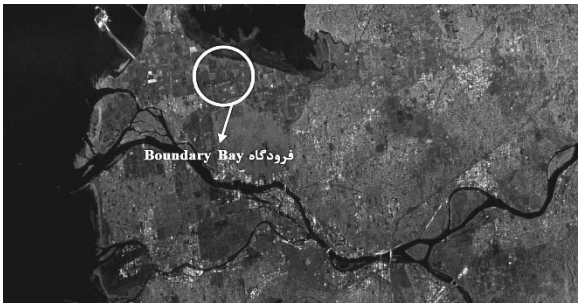
(الف)



(ب)

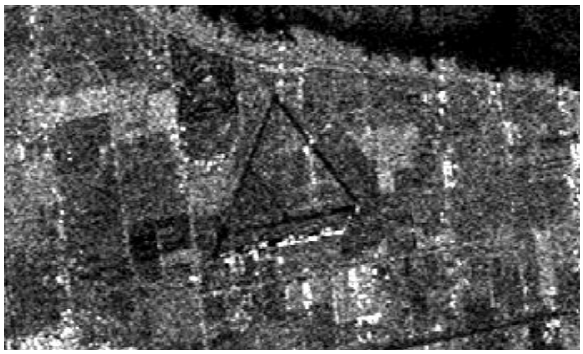
شکل ۱۳. الف) استخراج مدل نقطه‌ای از هواپیما. ب) مدل نقطه‌ای استخراج شده

در ادامه به منظور بیان کاربرد مدل نقطه‌ای و به عنوان نمونه، حفاظت از هواپیماهای موجود در فرودگاه Boundary Bay در شهر Vancouver کانادا با استفاده این مدل بر اساس اصل فریب بررسی شده است. علت انتخاب این فرودگاه این است که داده خام آن که توسط ماهواره RADARSAT گرفته شده و موجود است و فضای تصویری آن توسط نویسندگان مقاله مطابق شکل (۱۴) استخراج شده است.



(الف)

(ب)



(ج)

شکل ۱۴. الف) تصویر راداری از شهر Vancouver کانادا، ب) فرودگاه Boundary Bay (تصویر راداری) و ج) تصویر اپتیکی از فرودگاه توسط Google Earth

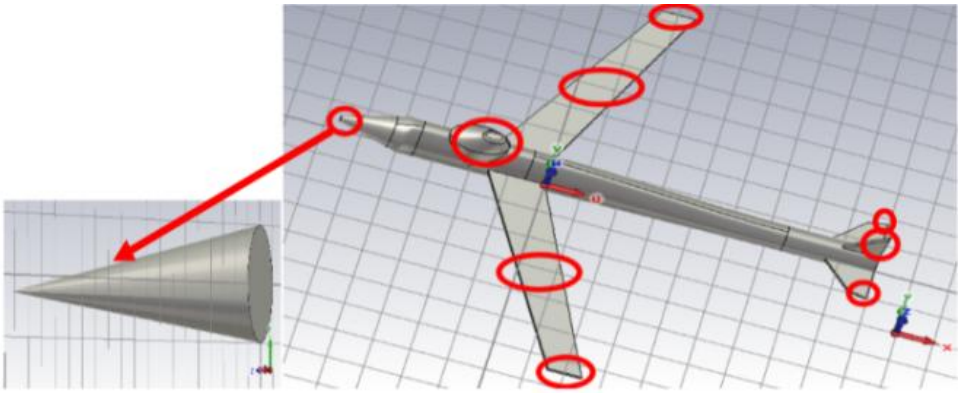
در این فرودگاه همان‌طور که در تصویر اپتیکی آن در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود، محل قرارگیری هواپیماها در قسمت شمال غربی باند است. چون هواپیماها از سطح مقطع راداری بالایی برخوردارند، در تصویر راداری به صورت سفید ظاهر

می‌شوند. از این موضوع می‌توان در آشکارسازی هواپیماها در تصاویر راداری استفاده کرد.

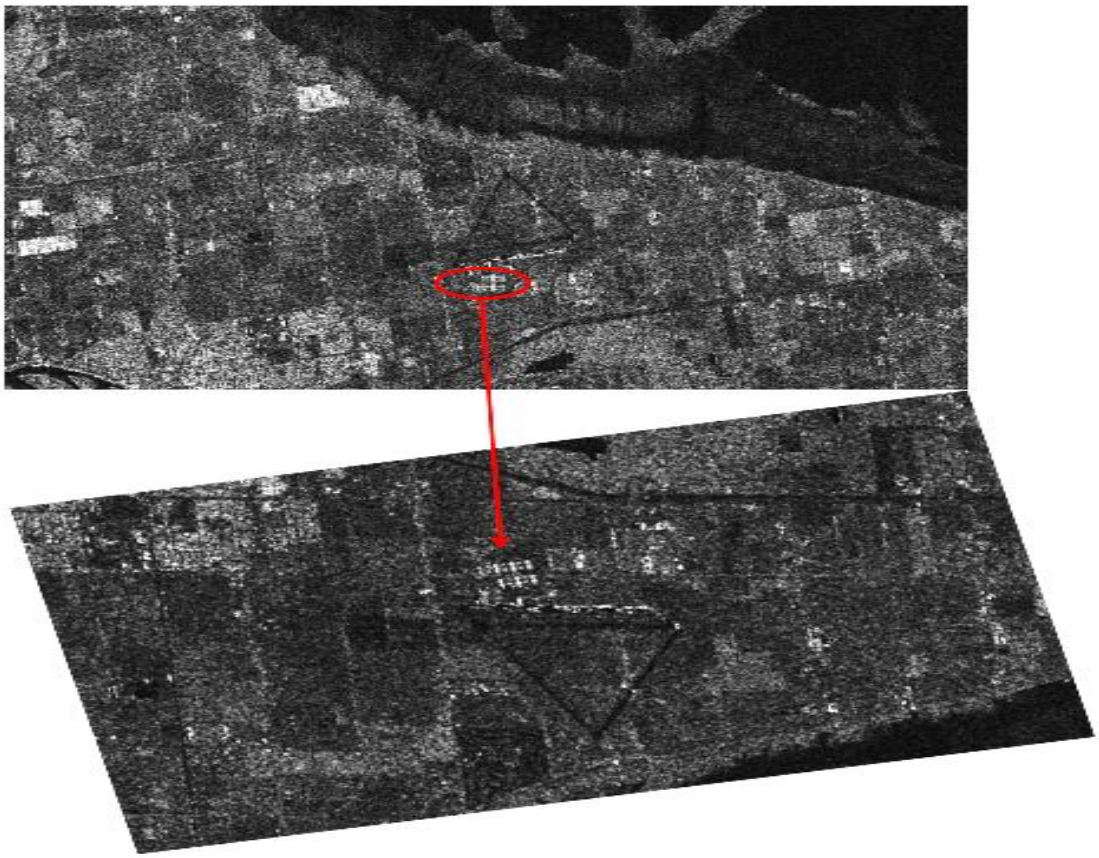
از آنجایی که برای تمام کشورها، فرودگاه و هواپیماهای موجود در آن از حساس‌ترین مناطق در زمان صلح و جنگ محسوب می‌شوند، بنابراین حفظ آن‌ها از منظر پدافند غیرعامل در برابر سامانه‌های تهدید بسیار ضروری است. در این مقاله برای رسیدن به این هدف از اصل فریب استفاده شده، به گونه‌ای که ابتدا مدل نقطه‌ای هواپیما مطابق شکل (۱۳) و با استفاده از روش پیشنهادی استخراج شده است. سپس با استفاده از مدل نقطه‌ای تشکیل شده، ساخت دریای آزاده صورت گرفته به طوری که از منظر شکل، ابعاد و میزان سطح مقطع راداری با نقاط غالب استخراج شده از مدل نقطه‌ای مطابقت داشته باشند. به عنوان مثال همان‌طور که در شکل (۱۶) نشان داده شده است، به جای نوک هواپیما می‌توان از سازه مخروطی شکل با سطح مقطع راداری استخراج شده از مدل نقطه‌ای استفاده کرد. با چینش این سازه‌ها در اطراف فرودگاه و مختصات‌های به‌دست آمده از مدل نقطه‌ای، می‌توان دشمن را در تعیین محل هواپیماهای واقعی از دروغین به خطا انداخت. زیرا وقتی تصویر راداری از این منطقه گرفته می‌شود چینش سازه‌ها به گونه‌ای است که هواپیماهای کاذب در تصویر ایجاد می‌شوند و این در حالی است که در واقعیت هیچ‌گونه هواپیمایی در آن منطقه وجود ندارد.

همان‌طور که در شکل (۱۴- الف) و شکل (۱۵) مشاهده می‌شود، قسمت جنوبی فرودگاه Boundary Bay ساحل دریاست و هواپیماها معمولاً در قسمت شمال غربی باند قرار دارند. بنابراین سازه‌ها نیز در قسمت شمال و شمال غربی فرودگاه که حاوی زمین‌های بایر و کشاورزی است، با فاصله از فرودگاه واقعی چیده می‌شوند و بدین ترتیب هواپیماهای کاذب در سمت شمال غربی فرودگاه مطابق شکل (۱۷) ایجاد می‌شوند و دشمن را در تشخیص هواپیماهای واقعی به اشتباه می‌اندازد. به علاوه این موضوع در حفظ و نگهداری فرودگاه و هواپیماهای موجود در آن، از دید موشک‌های دشمن که مجهز به جستجوگرهای تصویری و یا جستجوگرهای راداری حساس به سطح مقطع راداری هستند نیز بسیار مؤثر است.

شکل ۱۵. تصویر اپتیکی از فرودگاه Boundary Bay در شهر Vancouver کانادا



شکل ۱۶. استفاده از مدل نقطه‌ای مخروطی شکل به جای نوک هواپیما



شکل ۱۷. ایجاد هواپیماهای کاذب در اطراف فرودگاه. جهت بندی شکل پایین که حالت بزرگنمایی شکل بالاست به مانند شکل (۱۵) است

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی جدید برای استخراج مدل نقطه‌ای از اهداف گسترده و پیچیده ارائه شد. این روش از جهت‌های مختلف دارای اهمیت بوده و دارای کاربردهای بسیار است. با استفاده از مدل نقطه‌ای یک هدف می‌توان به نقاط غالب موجود در هدف و انواع سازوکارهای پراکندگی موجود در آن‌ها پی برد. از نقطه نظر تحلیلی، تحلیل میدان پراکندگی از اهداف با استفاده از مدل نقطه‌ای آن‌ها به مراتب ساده‌تر از تحلیل خود هدف است. مدل نقطه‌ای اهداف در فناوری‌های رادار گریزی و Stealth که به دنبال کاهش سطح مقطع راداری و کاهش برگشتی راداری هستند بسیار پر کاربرد است. مدل نقطه‌ای اهداف، گام اول برای استخراج تصاویر راداری از آن‌ها است. بنابراین تولید مدل نقطه‌ای از اهداف گسترده، برای کسانی که در حوزه رادارهای SAR و ISAR کار می‌کنند بسیار حائز اهمیت است. مدل پراکندگی نقطه‌ای اهداف امکان استخراج مشخصه‌ای یکتا از اهداف معلوم را فراهم می‌کند و از این منظر در سنجش از دور، تشخیص و دسته‌بندی اهداف، تصویربرداری پزشکی، آزمون غیر مخرب و ... کاربرد دارد. با استفاده از مدل نقطه‌ای اهداف می‌توان سازه‌های بزرگ و کاذب در تصاویر راداری ایجاد کرد و این موضوع می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی برای طرح‌های استتاری و فریب از منظر پدافند غیرعامل در برابر سامانه‌های تصویربرداری SAR قرار گیرد.

۵. مراجع

[1] Cumming, I. G.; Wong F. H. "Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data"; 1st Ed., Artech House, London, 2006.

[2] Chen, P.; Qi, C.; Wu, L.; Wang, X. "Estimation of Extended Targets Based on Compressed Sensing in Cognitive Radar System"; IEEE Trans. Veh. Tech. 2016, 99, 1-12.

[3] Wang, B.; Hu, Z.; Guan, W.; Liu, Q.; Guo, J. " Study on the Echo Signal Model and R-D Imaging Algorithm for FMCW SAR"; IET Int. Radar Conf. 2015, 1-6.

[4] Burgin, M. S.; Khankhoje, U. K.; Duan, X.; Moghaddam, M. "Generalized Terrain Topography in Radar Scattering Models"; IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2016, 54, 3944-3952.

[5] Mrdakovic, B. L.; Pavlovic, M. S.; Olcan, D. I.; Kolundzija, B. M. "Full-Wave Scattering Analysis of Electrically Large Objects in Wide-Band Synthetic Aperture Radar Systems"; IEEE 10th European Conf. Antennas and Propagation 2016, 1-4.

[6] Melvin, W. L.; Scheer, J. A. "Principles of Modern Radar"; SciTech Publishing, 2013.

[7] Richards, J. A. "Remote Sensing with Imaging Radar"; 1st Ed., Springer, New York, 2009.

[8] Massonnet, D.; Souyris, J. C. “Imaging with Synthetic Aperture Radar”; 1st Ed., EPFL Press, Swiss, 2008.

[9] Yin, D. Ran, X. Jia, “ Enhanced Back Projection Algorithm for Linear Frequency Diverse Array Synthetic Aperture Radar Imaging”; 11th European Conf. on Synthetic Aperture Radar, 2016, 1-5.

[10] Lopez, J. P. A. “Assessment and Modeling of Angular Backscattering Variation in ALOS Scan SAR Image Over Tropical Forest Areas”; Master of Science, Geo-information Science and Earth Observation, February, 2008.

[11] Schultz, M. “Synthetic Aperture Radar Imaging Simulated in MATLAB”; Master of Science These, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2009.

[12] Dehghani, H.; Mousazadeh, Q. “SAR Imagery Systems Corrupt Based on Reflectors”; Passive Defence Sci. & Tech. 2014, 239-246 (In Persian).