

ایجاد اختلال در تصویربرداری SAR با استفاده از رفلکتورها

حمید دهقانی^{۱*}، کیومرث موسی زاده^۲

۱- استادیار و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(دریافت: ۹۱/۰۹/۲۶، پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۰)

چکیده

فناوری‌های تصویربرداری فعال از قبیل سامانه‌های SAR، قابلیت‌های قابل توجهی نسبت به فناوری‌های سنجش از دور غیرفعال از قبیل سامانه‌های الکترواپتیکی دارا می‌باشند. قابلیت‌های این سامانه‌های تصویربرداری، امکان ثبت اطلاعاتی را فراهم می‌آورد که اخذ آن از روش‌های دیگر، امکان‌پذیر نمی‌باشد. از طرف دیگر این اطلاعات برای نیروهای نظامی بسیار مهم می‌باشند. از این رو، جهت حفظ اطلاعات، انجام برخی از اقدامات پدافند غیرعامل از قبیل استتار، فریب و اختفاء در برابر این نوع سامانه‌های تصویربرداری، ضروری است. در این مقاله براساس مدل عملکرد سامانه‌های تصویربرداری SAR، چگونگی مقابله با این سامانه‌های تصویربرداری با استفاده از رفلکتورها شرح داده می‌شود. رفلکتورها می‌توانند، سطح مقطع راداری بسیار بزرگی نسبت به اندازه خود ایجاد می‌کنند، بنابراین می‌توان از آنها به عنوان اهداف کاذب استفاده نمود. طبق الگویی که در مدل عملکرد این نوع سامانه‌های تصویربرداری ارائه شده است، در تصویر راداری جلوه نموده و امکان اخذ اطلاعات را از سامانه تصویربرداری SAR سلب می‌نماید. در این مقاله با استفاده از رفلکتورها، طرح‌هایی برای استتار اهداف و فریب سامانه‌های تصویربرداری SAR ارائه شده است. برای شبیه‌سازی‌های مقاله از یک دیتای راداری واقعی از ماهواره RADARSAT-1 مربوط به منطقه شمال ایران استفاده شده است. نتایج این شبیه‌سازی‌ها نشان دهنده کارایی و اثر بخشی الگوی‌های استتار و فریب ارائه شده در مقابله با سامانه‌های تصویربرداری SAR می‌باشد.

کلید واژه‌ها: تصویربرداری SAR، اقدامات مقابله، استتار فریب، رفلکتور.

SAR Imagery Systems Corrupt Based on Reflectors

H. Dehghani*, K. Mousazadeh

Malek Ashtar University of Technology

(Received: 16/12/2012; Accepted: 31/12/2013)

Abstract

Active imagery technologies such as SAR systems, have significant capabilities comparing with passive imagery technologies such as electro-optical systems. The capabilities of these imaging systems, enable them to acquire and obtain information that are not accessible in the other methods. On the other side, these information are very important for military forces. Hence, some passive defence activities such as camouflage, concealment and deception (CCD) are necessary to secure information against these types of imagery systems. This paper evaluates the capability of the reflectors as countermeasures against SAR imaging system based on their operational model. The reflectors are capable to produce very large radar cross section (RCS) as compared to their size; therefore, they can be used as false targets. According to operational model of SAR imaging systems, these false targets appear in SAR images and they cause disruption in acquiring data by SAR systems. This paper presents different plans for camouflage of targets and deception of SAR imaging systems by use of reflectors. A real SAR data of RADARSAT-1 from the North of Iran is used for simulation. The results show the efficiency and effectiveness of the proposed plans for countermeasure against the SAR imagery systems.

Keywords: SAR Imagery, Countermeasure, CCD, Reflector.

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

۱. مقدمه

امروزه فناوری‌های سنجش از دور به ابزار کارآمدی در کسب اطلاعات تبدیل شده‌اند. تصویربردارهای سنجش از دور به صورت فعال^۱ و غیرفعال^۲ عمل می‌کنند. سامانه‌های الکترواپتیکی که فقط بازتاب سطوح را در طول موج‌های مرئی و مادون قرمز ضبط می‌کنند، سامانه‌های تصویربرداری غیرفعال و سامانه‌هایی مثل تصویربردارهای SAR که بازتاب امواج ماکروویوی که خود به سطوح تابانده‌اند را اندازه‌گیری می‌کنند، در دسته تصویربردارهای فعال قرار دارند.

توانمندی‌های سامانه‌های تصویربردار غیرفعال، در کسب اطلاعات به ویژه از صحنه‌های عملیاتی و میدان‌های نبرد قابل توجه است. لیکن وجود محدودیت‌هایی در آنها، استفاده از سامانه‌های تصویربرداری فعال را اجتناب ناپذیر می‌کند. از جمله محدودیت‌های تصویربردارهای غیرفعال می‌توان به عدم امکان تصویربرداری در شب، تضعیف امواج توسط اتمسفر و عدم دید در شرایط جوی ابری، بارندگی و گرد و غبار اشاره نمود [۱].

تصویربردارهای راداری SAR علاوه بر پوشش‌دهی نقاط ضعف سامانه‌های تصویربرداری غیرفعال، امکان اخذ اطلاعاتی را فراهم می‌آورند که امکان اخذ آن توسط فناوری‌های سنجش از دور الکترواپتیکی وجود ندارد. برای مثال در این نوع سامانه‌های تصویربرداری امکان ثبت فاز و اخذ داده در پلاریزاسیون‌های مختلف وجود دارد. از این داده‌ها برای اندازه‌گیری تداخل‌ها، تغییرات ارتفاعی سطح، استخراج اطلاعاتی در ارتباط با شکل، جهت اهداف و شناسایی بافت‌های مختلف سطح استفاده می‌شود [۲]. با توجه به قابلیت‌هایی که سامانه‌های تصویربرداری SAR ارائه نموده‌اند، نه تنها این نوع سنجش از دور به‌عنوان مکملی برای سنجش از دور الکترواپتیکی مطرح شده، بلکه در بسیاری از کاربردها به‌عنوان تنها گزینه مطرح می‌گردد [۳]. این مسئله دلیل آن است که چرا فناوری SAR در برخی از کشورها مثل کانادا که از نظر موقعیت جغرافیایی، وضعیت خاصی دارند، رشد قابل توجهی داشته است.

قابلیت‌های سامانه‌های تصویربرداری SAR باعث شده است که این سامانه‌ها به ابزار مهمی جهت کسب برتری اطلاعاتی در سطوح تاکتیکی، عملیاتی و استراتژیک تبدیل شوند. در سطح تاکتیکی نمونه‌هایی از این فناوری در موشک‌های کروز استفاده می‌شود. در سطح عملیاتی، این فناوری ابزار توانمندی برای پایش میدان نبرد و اخذ اطلاعات از صحنه عملیات می‌باشد. در سطح استراتژیک این فناوری به‌صورت مؤثر برای رصد فعالیت‌های هسته‌ای، زیرزمینی و زیست‌محیطی و نظارت بر حسن انجام تعهدات بین‌المللی در کشورهای مختلف استفاده می‌شود. علاوه بر برنامه‌های آتی بلند مدتی که برای توسعه و استفاده از این فناوری در برخی از کشورها

برنامه‌ریزی و اعلام شده است، در حال حاضر شاهد نمونه‌ها و نسل‌های مختلفی از این فناوری، نصب شده بر روی هواپیماها به‌ویژه هواپیماهای بدون سرنشین و ماهواره‌ها برای مقاصد تجاری، نظامی و جاسوسی هستیم. در حوزه نظامی و جاسوسی این فناوری امکان کسب اطلاعاتی را در سطح استراتژیک برای دارندگان آن فراهم می‌آورد. از این رو امروزه بسیاری از کشورها در حالت لاش برای دست یافتن به این فناوری مهم هستند.

براساس آنچه بیان شد، از دیدگاه پدافند غیرعامل مقابله با این سامانه‌ها بسیار مهم و حیاتی است. در این مقاله سعی شده است ضمن بررسی قابلیت‌ها و ضعف‌های مختلف سامانه تصویربرداری SAR، راهکار مناسبی برای مقابله با آن، با استفاده از رفلکتورها ارائه شود.

در این مقاله قابلیت‌ها، توانمندی‌ها، محدودیت‌ها و نقاط ضعف سامانه‌های تصویربرداری SAR مورد بررسی قرار گرفته و الگوی رفتاری رفلکتور در فرایند تصویربرداری SAR (تصویر SAR رفلکتور) استخراج می‌گردد. در ادامه راهکارهای مقابله با سامانه تصویربرداری SAR با استفاده از رفلکتورها پیشنهاد و تشریح می‌گردد. برای نشان دادن کارایی راهکارهای پیشنهادی، نحوه مقابله با سامانه‌های تصویربرداری SAR، در قالب یک طرح استتاری و یک طرح فریب‌بر روی یک نمونه داده واقعی SAR شبیه‌سازی شده است.

۲. توانمندی‌ها و محدودیت‌های سامانه‌های تصویربرداری SAR

از نظر نوع اطلاعات، زمان اخذ داده و نحوه اخذ تصویر، سنجش از دور راداری SAR به‌عنوان مکملی برای سنجش از دور الکترواپتیکی محسوب می‌شود. برخی از قابلیت‌ها و توانمندی‌های تصویربرداری SAR را می‌توان به‌صورت زیر برشمرد:

- امکان تصویربرداری در هر زمان از شبانه روز
- قابلیت تصویربرداری در شرایط مختلف آب و هوایی
- قابلیت تصویربرداری با پلاریزاسیون‌های مختلف
- قابلیت ثبت فاز امواج ارسالی و دریافتی
- قابلیت نفوذ امواج ماکروویوی در پوشش‌های گیاهی
- تأثیرپذیری تصاویر SAR از بافت سطوح
- تأثیرپذیری تصاویر SAR از تغییرات ارتفاعی سطوح
- تأثیرپذیری تصاویر SAR از شیب سطوح
- تأثیرپذیری تصاویر SAR از ضریب دی الکتریک سطوح

در مقابل قابلیت‌هایی که این سامانه‌ها دارا می‌باشند، محدودیت‌ها و نقاط ضعفی نیز برای این سامانه‌ها وجود دارد که می‌توان آن را به دسته محدودیت‌های ذاتی و محدودیت‌های کارکردی تقسیم‌بندی نمود. محدودیت‌های کارکردی مثل وابستگی تصویر به زاویه دید سنجنده، محدودیت‌هایی هستند که به نحوه استفاده از سامانه‌های تصویربرداری SAR مربوط بوده و با تغییر شرایط تصویربرداری

¹ Active

² Passive

نمود، که ورود تصویربردارهای SAR را بر فراز آن مناطق، آشکارسازی و اعلام نماید [۴].

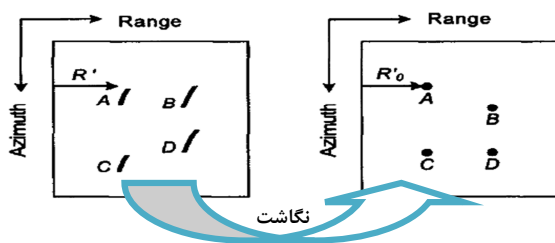
در این مقاله با استخراج رفتار و پاسخ سامانه‌های تصویربردار SAR به رفلکتورها، نشان داده می‌شود که چگونه می‌توان از رفلکتورها به‌عنوان اهداف کاذب برای مقابله با سامانه‌های تصویربرداری SAR استفاده نمود.

۳. الگوی رفتاری رفلکتور در تصویربرداری SAR

جهت استفاده از رفلکتور به‌عنوان یک هدف کاذب در برابر سامانه تصویربردار SAR ابتدا لازم است رفتار یا پاسخ یک سامانه SAR نمونه به یک رفلکتور نمونه استخراج گردد. با استفاده از رفتاری که یک رفلکتور در یک تصویر SAR از خود بروز می‌دهد، می‌توان چیدمان بهینه‌ای از اهداف کاذب برای مقابله با تصویربردارهای SAR ارائه نمود.

اگر فرض شود رفلکتور یک منعکس کننده نقطه‌ای کامل باشد، برای استخراج رفتار سامانه SAR در برابر رفلکتور، لازم است عملکرد این نوع سامانه‌ها به ازای اهداف نقطه‌ای مدل‌سازی شود. به‌عبارت دیگر در این بخش از مقاله ابتدا لازم است پاسخ ضربه دو بعدی (پاسخ به هدف نقطه‌ای یا در اینجا پاسخ به رفلکتور) سامانه تصویربردار SAR ارائه گردد. حاصل این بخش ارائه تصویر SAR یک رفلکتور یا رفتار سامانه تصویربردار SAR در برابر یک رفلکتور می‌باشد.

عملکرد سامانه‌های تصویربرداری SAR نسبت به سنجش از دور غیرفعال، بسیار پیچیده‌تر است. در تصویربرداری SAR ابتدا یک فضای سیگنالی بر اساس بازتاب سطح در طول موجی که رادار SAR در آن فعالیت می‌کند، شکل می‌گیرد و در ادامه برای تشکیل تصویر SAR منطقه، نگاهی از این فضای سیگنالی به فضای تصویر انجام می‌شود. در شکل (۱) این مسئله نشان داده شده است. برای این نگاشت از الگوریتم‌های مختلفی استفاده می‌شود که از این میان، الگوریتم‌های RDA، CSA^۲ و Omega-k از دقت بالاتری برخوردارند. در این مقاله از الگوریتم CSA استفاده شده است [۵ و ۶].



شکل ۱. نگاشت از فضای سیگنالی به فضای تصویری [۶]

می‌توان آنها را برطرف یا تا حد زیادی کنترل نمود. محدودیت‌های ذاتی از قبیل فعال بودن سامانه‌های تصویربرداری SAR، محدودیت‌هایی هستند که به ماهیت تصویربرداری SAR مربوط بوده و امکان برطرف کردن آنها وجود ندارد و در بهترین شرایط، فقط می‌توان تا حدی آنها را کنترل نمود. برخی از محدودیت‌های سامانه‌های تصویربرداری SAR در ادامه لیست شده‌اند.

- وابستگی کیفیت تصاویر SAR به زاویه دید سنجنده
- عدم توانایی دیدن نواحی پشت شیب
- فعال بودن سامانه تصویربرداری
- تأثیر رطوبت سطح بر کیفیت تصاویر
- اختلال در تصویربرداری SAR با وجود فرستنده‌هایی با فرکانس‌های ارسالی مشابه
- وجود نویز لکه‌ای یا اسپیکل^۱ در تصاویر SAR
- نیاز به پیش‌پردازش‌های پیچیده از قبیل شکل‌دهی تصویر و تصحیحات هندسی
- وابستگی تصاویر SAR به خواص متعدد فیزیکی و ساختاری سطح منطقه تحت تصویربرداری و پارامترهای مختلف سامانه تصویربرداری SAR
- از آنجا که اساس این نوع سامانه، راداری است، محدود کننده‌های رادار به‌عنوان محدودکننده‌های این نوع سامانه‌ها قابل طرح می‌باشند. برای مثال رفلکتورها به‌عنوان اهداف کاذب برای سامانه‌های راداری، می‌توانند به‌عنوان اهداف کاذب در این نوع تصویربردارها مطرح شوند.

یکی از تأثیراتی که محدودیت‌های سامانه‌های تصویربرداری SAR ایجاد می‌نمایند، افزایش قابل توجه پیچیدگی تفسیر تصاویر SAR نسبت به تصاویر الکترواپتیکی می‌باشد. این پیچیدگی در برخی موارد باعث عدم به‌کارگیری تصاویر SAR می‌شود، به‌ویژه زمانی که تصاویر الکترواپتیکی مناسبی از منطقه تحت بررسی در دسترس باشد. از طرف دیگر از منظر پدافند غیر عامل، این محدودیت‌ها برای سامانه‌های تصویربرداری SAR، نقاط ضعفی محسوب می‌شوند که می‌توان برای ایجاد اختلال در تصویربرداری SAR از مناطق مورد نظر، مبنای برنامه‌ریزی، طراحی راه‌کار مقابله و ارائه ملاحظات پدافند غیرعاملی قرار گیرند، برای مثال:

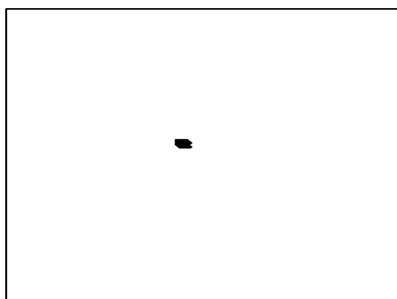
سامانه‌های تصویربرداری SAR از جمله سامانه‌های سنجش از دور فعال می‌باشند. از این رو می‌توان فعالیت آنها را در یک منطقه آشکار نمود. بسیاری از پارامترهای آنتن فرستنده یک سامانه تصویربرداری SAR از قبیل باند فرکانسی استفاده شده و پهنای پالس امواج ارسالی، در سطح زمین (در نزدیک هدف) قابل اندازه‌گیری می‌باشند. با به‌کارگیری شبکه‌ای از گیرنده‌های مناسب و توزیع آنها در سطح مناطق مورد نظر (مناطق که از نظر پدافند غیرعامل، از اهمیت بیشتری برخوردارند) می‌توان سامانه هشدار دهنده‌ای را طراحی

^۲ Chirp Scaling Algorithm

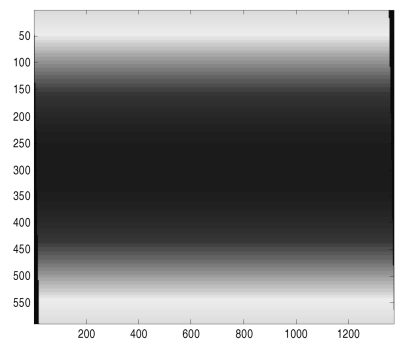
^۱ Speckle Noise

می‌دهد. این تصویر که شبیه یک تابع ضربه دوبعدی است به‌عنوان تابع $g(t, \eta)$ در رابطه (۱) استفاده شد. برای استخراج پاسخ ضربه به ازای ورودی تابع ضربه دوبعدی فوق از مشخصات سامانه تصویربرداری RADARSAT-1 در رابطه (۵) استفاده شده است.

براساس مشخصات سامانه SAR انتخاب شده و ماهواره مربوطه، در این مقاله از مشخصات ماهواره RADARSAT-1 استفاده شده است) تأثیرگذاری رفلکتور یا هدف نقطه‌ای در دو جهت سمت و برد به‌صورت شکل (b-۲) می‌باشد. در واقع این شکل دامنه سیگنال راداری بازگشتی و ثبت شده از رفلکتور را نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر شکل (b-۲) داده‌های خام یا فضای سیگنالی شکل گرفته برای یک رفلکتور را نشان می‌دهد.



(a)



(b)



(c)

شکل ۲. (a) تابع ضربه دو بعدی به‌عنوان ورودی مدل سامانه تصویربرداری SAR، (b) دامنه پاسخ ضربه بخش شکل‌دهی فضای سیگنالی در سامانه SAR و (c) دامنه پاسخ ضربه کلی سامانه تصویربرداری SAR به ازای مشخصات RADARSAT-1 و الگوریتم CSA (تصویر SAR یک رفلکتور).

در سامانه‌های SAR هر نقطه در زمین که بین برد نزدیک^۱ و برد دور^۲ سامانه تصویربرداری SAR قرار گرفته باشد، توسط بیم^۳ آنتن رادار SAR روشن می‌شود و انرژی بازگشتی از آن به آنتن گیرنده سامانه SAR می‌رسد. انرژی بازگشتی به سامانه SAR حاصل کانولوشن پالس ارسالی S_{pul} و بازتاب زمین g_r می‌باشد [۷]:

$$s_r(t) = g_r(t) * s_{pul}(t) \quad (1)$$

بر اساس رابطه فوق اگر یک هدف نقطه‌ای یا یک رفلکتور در فاصله R_a از رادار و با ضریب انعکاس A_0 قرار داشته باشد، تابع بازتاب زمینی آن به‌صورت زیر است:

$$g_r(t) = A_0 \delta \left(t - \frac{2R_a}{c} \right). \quad (2)$$

که در آن، $2R_a/c$ تأخیر ناشی از رفت و برگشت موج ارسالی است. سیگنال دریافتی بعد از دمدولاسیون به‌صورت زیر بیان می‌گردد:

$$s_0(\tau, \eta) = A_0 w_r \left(\tau - 2 \frac{R(\eta)}{c} \right) w_a(\eta - \eta_c) \times \exp \left\{ -j4\pi f_o \frac{R(\eta)}{c} \right\} \times \exp \left\{ j\pi k_r \left(\tau - 2 \frac{R(\eta)}{c} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

که در آن، A_0 یک ضریب ثابت مختلط و w_r پوش پالس ارسالی در جهت برد می‌باشد که معمولاً به‌صورت مستطیلی است:

$$w_r = \text{rect} \left(\frac{\tau}{T_r} \right) \quad (4)$$

که در آن، T_r زمان دوام پالس، τ زمان سریع^۵ (زمان در جهت برد)، w_a پترن آنتن در جهت سمت، η زمان کند^۶ (زمان در جهت سمت) و K_r نرخ FM پالس ارسالی است. در این رابطه اگر از A_0 صرفه نظر شود رابطه پاسخ ضربه دوبعدی در سامانه‌های تصویربرداری SAR با دامنه واحد به‌دست می‌آید:

$$h_{imp}(\tau, \eta) = w_r \left(\tau - 2 \frac{R(\eta)}{c} \right) w_a(\eta - \eta_c) \times \exp \left\{ -j4\pi f_o \frac{R(\eta)}{c} \right\} \times \exp \left\{ j\pi k_r \left(\tau - 2 \frac{R(\eta)}{c} \right)^2 \right\} \quad (5)$$

تابع فوق در حقیقت پاسخ سامانه راداری SAR یا تصویر SAR یک رفلکتور با مقدار A_0 یا ضریب انعکاس برابر یک است. شکل (۲) نشان دهنده تصویر ایده‌آل یک رفلکتور به‌عنوان یک هدف نقطه‌ای و تصویر مربوط به رفتار سامانه SAR به این هدف نقطه‌ای می‌باشد. به‌عبارت دیگر تابع فوق، تابع رفتار یک رفلکتور در تصویر SAR می‌باشد.

در این مقاله برای استخراج الگوی رفتاری سامانه تصویربرداری SAR، به یک هدف نقطه‌ای، رفلکتور در یک تصویر خالی در نظر گرفته شد و برای سادگی فرض شد که این هدف حداکثر روشنایی را در تصویر SAR ایجاد نماید و در همه جهات یکسان دیده شود. شکل (a-۲) این تصویر را که یک تصویر ایده‌آل از یک رفلکتور است نشان

¹ Near Range

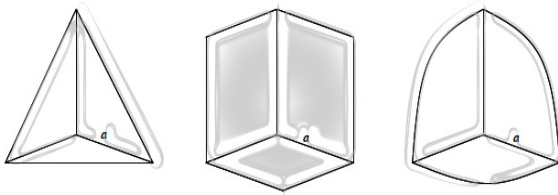
² Far Range

³ Beam

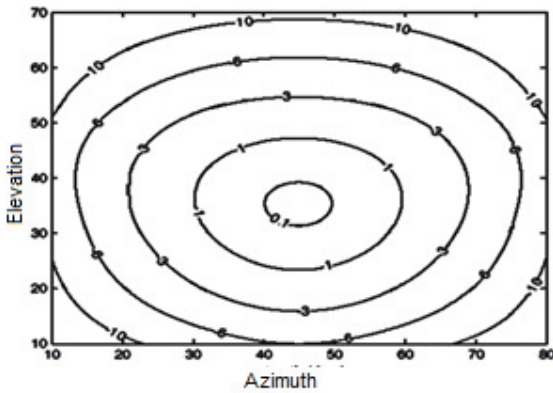
⁴ Ground Reflectivity

⁵ Fast Time

⁶ Slow Time



شکل ۳. رفلکتورهای متداول مورد استفاده برای مقابله با SAR [۶]



شکل ۴. کانتورهای RCS ثابت مربوط به رفلکتور مثلثی [۶]

در سامانه‌های راداری معمولاً از بازتاب کننده‌های گوشه‌ای سه‌وجهی به‌عنوان رفلکتور استفاده می‌شود. زیرا سطح مقطع راداری آنها را می‌توان توسط معادلات تحلیلی به‌دست آورد. سه نمونه متعارف از این نوع بازتاب کننده‌ها در شکل (۳) نشان داده شده است. مقدار بیشینه سطح مقطع راداری یا RCS بازتاب کننده مثلثی با توجه به شکل هندسی آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\sigma_{\text{triangle,peak}} = \frac{4\pi a^4}{3\lambda^2} \quad (۶)$$

که در آن، λ طول موج و a در شکل (۳) نشان داده شده است. مقادیر واقعی RCS، متناسب با زاویه دید در جهات سمت و ارتفاع از مقدار بیشینه کمتر است. کانتورهای شکل (۴) نشان دهنده میزان تأثیرگذاری زاویه دید، زوایای سمت و ارتفاع بر میزان RCS بیشینه می‌باشد. مقادیر بیشینه RCS برای رفلکتورهای مربعی و دایره‌ای نیز به‌ترتیب از رابطه‌های (۷ و ۸) به‌دست می‌آیند:

$$\sigma_{\text{square,peak}} = \frac{12\pi a^4}{\lambda^2} \quad (۷)$$

$$\sigma_{\text{circular,peak}} = \frac{15.6a^4}{\lambda^2} \quad (۸)$$

۵. شبیه‌سازی راهکار مقابله پیشنهادی با سامانه‌های تصویربرداری SAR با استفاده از رفلکتورها

همان‌گونه که بیان شد، رفلکتورها به‌عنوان یک راهکار مؤثر و کارآمد در مقابله با تصویربرداری SAR قابل طرح می‌باشند. نحوه مقابله می‌تواند به‌صورت یک طرح استتاری و یا یک طرح فریب عملیاتی شود. در این بخش از مقاله این دو رویکرد مقابله‌ای شبیه‌سازی می‌شوند.

برای تبدیل فضای سیگنال مربوط به رفلکتور به فضای تصویر، یا شکل‌دهی تصویر SAR رفلکتور از الگوریتم CSA استفاده شد. آنچه به‌عنوان خروجی این قسمت حاصل شد، پاسخ ضربه کلی سامانه تصویربرداری SAR به یک رفلکتور یا در حالت کلی یک هدف نقطه‌ای می‌باشد که به ازای مشخصات سامانه تصویربرداری RADARSAT-1 و الگوریتم تبدیل فضای سیگنال به فضای تصویر CSA ایجاد شده است. دامنه تصویر SAR رفلکتور در شکل (۲-c) نشان داده شده است. به‌عبارت دیگر شکل (۲-c)، شکل رفتار رفلکتور را در تصویر SAR، یا تصویر SAR رفلکتور را نشان می‌دهد. درستی تصویر SAR رفلکتور به‌دست آمده در این قسمت بر اساس مرجع [۶] قابل اثبات است.

۴. مقابله با سامانه‌های تصویربرداری SAR با استفاده از رفلکتور

با توجه به رفتاری که یک رفلکتور در فرایند تصویربرداری SAR از خود نشان می‌دهد و تصویر SAR که نهایتاً از خود برجای می‌گذارد، در این مقاله پیشنهاد می‌شود، برای مقابله با سامانه‌های تصویربرداری SAR، از رفلکتورها به‌عنوان عوامل استتار و فریب استفاده شود. با تصویری که رفلکتور در تصویر SAR ایجاد می‌کند، می‌توان ابهام زیادی در تصویر خروجی یک سامانه تصویربرداری SAR، ایجاد نمود. این باعث می‌شود که تفسیر تصاویر SAR و استخراج اطلاعات از این تصاویر مختل شود.

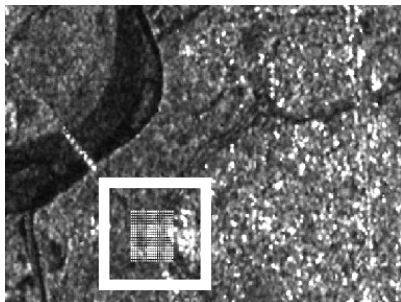
لازم به‌ذکر است که برای مقابله با سامانه‌های راداری غیر تصویربردار نیز، رفلکتورها به‌عنوان اهداف کاذب مطرح بوده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجا که اساس فعالیت سامانه‌های تصویربردار SAR، راداری‌باشد، از این رو پیشنهاد ارائه شده در این مقاله از یک سو به دلیل راداری بودن سامانه‌های تصویربرداری SAR و از سوی دیگر به دلیل نوع رفتار رفلکتورها در تصویربرداری SAR دارای پشتوانه‌های علمی و عملیاتی می‌باشد.

رفلکتورها، سطح مقطع راداری بسیار بزرگی نسبت به اندازه خود ایجاد می‌کنند. برای مثال براساس شکل و جنسی که دارند، معادل سطحی با بیش از ۱۰۰۰ برابر سطح خود، عمل انعکاس را در طول موج‌های مختلف انجام می‌دهند.

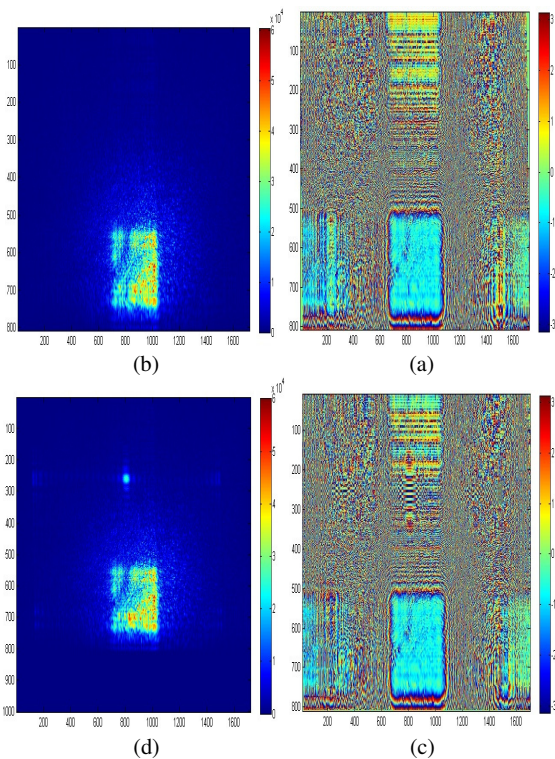
برای مقابله با سامانه‌های تصویربرداری SAR می‌توان در سطح منطقه مورد نظر، تعدادی رفلکتور در جهات مناسب قرار داد. در این صورت میزان انعکاس امواج از سطح اشیاء و پدیده‌ها، در مقابل میزان انعکاسی که این رفلکتورها خواهند داشت، قابل صرفه نظر کردن است. هر رفلکتور طبق تصویری که در شکل (۲-c) نشان داده شده، در تصویر SAR منطقه، نمایان خواهد شد و بازتاب اهدافی که در همسایگی آن قرار دارند، را از منظر سامانه تصویربرداری محو می‌کند. به این ترتیب در تصویر SAR که از مناطقی با حضور رفلکتورها اخذ می‌گردد، تفکیک‌پذیری بین اهداف، اشیاء و پدیده‌ها از بین می‌رود.

در این شکل تفاوت‌های میان دامنه و فاز ناشی از به‌کارگیری رفلکتور در تصویر نشان داده شده است. در ادامه با استفاده از الگوریتم CSA، این داده‌های خام راداری به تصویر SAR تبدیل می‌شوند. شکل (۸) تصویر SAR منطقه تحت بررسی را قبل و بعد از به‌کارگیری رفلکتورها نشان می‌دهد.

ملاحظه می‌شود که به‌کارگیری رفلکتورها در مناطق هدف به‌صورت کارآمدی می‌تواند جزئیات و حتی در برخی موارد کلیات هدف را از منظر سامانه‌های تصویربرداری SAR پنهان نماید.



شکل ۶. به‌کارگیری و چیدمان رفلکتورها در تصویر



شکل ۷. (a) فاز دیتای راداری ایجاد شده از روی تصویر اصلی، (b) دامنه دیتای راداری ایجاد شده از روی تصویر اصلی، (c) فاز دیتای راداری ایجاد شده از روی تصویر ترکیب شده با رفلکتورها، (d) دامنه دیتای راداری ایجاد شده از روی تصویر ترکیب شده با رفلکتورها

داده‌هایی که برای شبیه‌سازی‌ها در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است، توسط ماهواره RADARSAT-1 از منطقه شمال ایران (استان گیلان - شهر آستانه اشرفیه) تهیه شده است. تصویر مرئی و تصویر SAR منطقه تحت آزمایش در شکل (۵) نشان داده شده است. قابل توجه است که در این تصاویر از زوایای متفاوتی به شهر نگاه شده است و تصاویر نسبت به یکدیگر تثبیت نشده‌اند. در ادامه به‌صورت جداگانه طرح‌های استتار و فریب برای بخش‌هایی از این تصویر شبیه‌سازی شده و نتایج ارائه می‌گردد.

برای استفاده از رفلکتورها در راه‌کارهای استتار و فریب، در شبیه‌سازی‌ها موارد زیر فرض شده است.

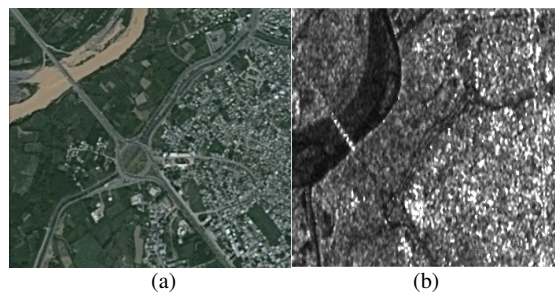
۱- بدون توجه به شکل، ابعاد، جهت و RCS رفلکتورها میزان A_0 یا ضریب انعکاس رفلکتورها در فرایند تصویربرداری SAR برابر یک در نظر گرفته شده است.

۲- چیدمان رفلکتورها براساس اندازه سطح پیکسل‌های تصویر تعیین می‌شود. به‌عبارت دیگر برای مقابله با سامانه‌های SAR با دقت مکانی بالاتر، نیاز به رفلکتورهای بیشتر بوده و برعکس. در تصاویر RADARSAT-1 دقت مکانی حدود ۸ متر می‌باشد. از این رو در شبیه‌سازی‌ها در هر دو پیکسل یک رفلکتور یا یک مجموعه رفلکتور قرار داده شده تا ضریب انعکاس برابر یک ایجاد شود.

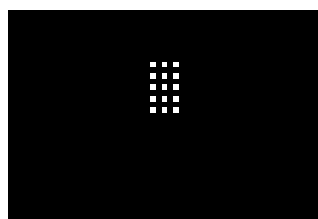
۵-۱. شبیه‌سازی طرح استتاری

میدان ورودی شهر آستانه اشرفیه در تصویر مرئی شکل (۵) به‌صورت واضح قابل مشاهده است. با کمی دقت این میدان در تصویر SAR نیز قابل تفکیک بوده و جزئیات آن را می‌توان استخراج نمود. در طرح استتاری شبیه‌سازی شده در این مقاله، این میدان به‌عنوان هدفی که قرار است استتار شود، انتخاب شده است.

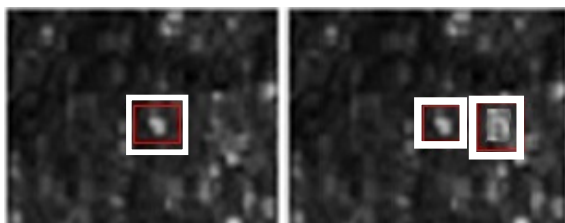
رفلکتورها به‌عنوان اهداف نقطه‌ای به‌فاصله یک پیکسل از یکدیگر در سطح میدان در تصویر SAR منطقه قرار داده شدند. شکل (۶) این چیدمان را نشان می‌دهد. با فرض ثابت بودن همه شرایط با استفاده از مدل عملکردی سامانه‌های تصویربرداری SAR، فرایند تصویربرداری SAR از منطقه شبیه‌سازی شد و تصویر جدید SAR منطقه با وجود رفلکتورها بازسازی شد. شکل (۷) فاز و دامنه داده راداری اخذ شده از منطقه هدف را بدون استفاده از رفلکتورها و با استفاده از رفلکتورها نشان می‌دهد.



شکل ۵. (a) تصویر مرئی و (b) تصویر SAR منطقه تحت آزمایش (شهر آستانه اشرفیه در استان گیلان)



شکل ۱۰. نحوه چیدمان رفلکتورها در منطقه‌ای در نزدیکی هدف مورد نظر



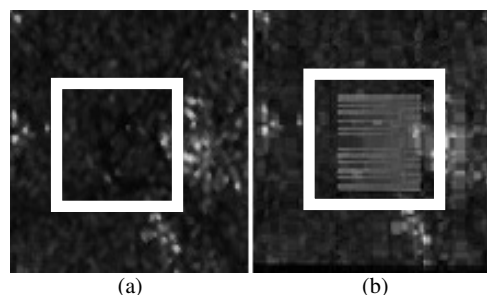
شکل ۱۱. تصویر سمت چپ، تصویر SAR منطقه قبل از اجرای عملیات فریب و تصویر سمت راست، تصویر SAR منطقه بعد از اجرای عملیات فریب

۶. نتیجه‌گیری

نظر به قابلیت‌هایی که سامانه‌های تصویربرداری SAR، ارائه می‌نمایند، مقابله با آنها و ایجاد اختلال در فرایند تصویربرداری آنها به‌عنوان اولویتی در برنامه‌های پدافند غیرعامل کشور قابل طرح می‌باشد. در این مقاله ضمن بررسی عملکردی سامانه‌های تصویربرداری SAR، نشان داده شد که از رفلکتورها به‌عنوان یک راهکار مؤثر، می‌توان برای مقابله با تصویربرداری سامانه SAR استفاده نمود. از یک طرف در تصویربرداری SAR، رفلکتور به‌عنوان یک هدف نقطه‌ای، رفتار خاصی از خود بروز می‌دهد و از طرف دیگر رفلکتورها سطح مقطع راداری بسیار بزرگی را نسبت به اندازه‌های خود ایجاد می‌کنند و در صورت استفاده از آنها میزان انعکاس امواج از سطح اشیاء و پدیده‌های دیگر در مقابل میزان انعکاسی که این اهداف کاذب خواهند داشت، قابل صرفه‌نظر کردن است. از این رو در این مقاله دو طرح، یکی برای استتار اهداف در برابر سامانه‌های تصویربرداری SAR و یکی برای ایجاد اهداف فریب در برابر این سامانه‌ها ارائه گردید. در طرح استتاری جزئیات و حتی کلیات اهداف را می‌توان با عملکردی که رفلکتورها از خود ارائه می‌نمایند، از منظر سامانه تصویربرداری SAR پنهان نمود. در طرح فریب می‌توان با به‌کارگیری چیدمانی از رفلکتورها، اهداف کاذبی را ایجاد نمود و مفسرین تصاویر SAR را در آشکارسازی و شناسایی اهداف دچار خطا نمود. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده حاکی از کارایی طرح‌های استتاری و فریبی است که در این مقاله ارائه شده است.

۷. مراجع

- [1] Schowengerdt, R. A. "Remote Sensing Models and Methods for Image Processing"; 3rd Ed., Elsevier, New York, 2007.
- [2] Richards, J. A. "Remote Sensing with Imaging Radar"; 1st Ed., Springer, New York, 2009.

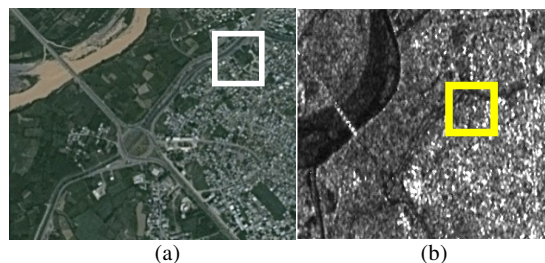


شکل ۸. مقایسه تصاویر بازسازی شده، (a) قبل از به‌کارگیری رفلکتور، (b) بعد از به‌کارگیری رفلکتور

۵-۲. شبیه‌سازی طرح فریب

در شکل (۹-۱) بیمارستان کوثر شهر آستانه اشرفیه با کادر رنگی مشخص شده است. در تصویر شکل (۹-۲) تصویر SAR این بیمارستان در یک کادر مشخص شده است. این شکل نشان دهنده الگوی رفتاری بخشی از ساختمان یک بیمارستان در برابر سامانه تصویربرداری SAR می‌باشد. با توجه به آنکه اطراف این الگو هدف برجسته دیگری وجود ندارد، می‌تواند برای مفسرین عکس‌های SAR به‌عنوان یک هدف ایجاد حساسیت نماید. برای ایجاد یک طرح فریب در نزدیکی ساختمان بیمارستان، چیدمانی از رفلکتورها در تصویر SAR منطقه ایجاد شد. این چیدمان در شکل (۱۰) نشان داده شده است. مشابه بخش قبل با فرض ثابت بودن همه شرایط با استفاده از مدل عملکردی سامانه‌های تصویربرداری SAR، فرایند تصویربرداری SAR از منطقه شبیه‌سازی شد و تصویر جدید SAR منطقه با وجود طرح فریب بازسازی شد. شکل (۱۱) تصویر SAR منطقه را قبل و بعد از اجرای عملیات فریب نشان می‌دهد. در این بخش نیز از الگوریتم CSA، برای تبدیل داده‌های خام راداری به تصویر SAR استفاده شده است.

مقایسه دقیق‌تر شکل‌های (۱۱) بیان‌کننده این موضوع است که به‌کارگیری طرح فوق منجر به ایجاد الگوی برجسته‌تری نسبت به الگوی SAR ساختمان بیمارستان شده است (هدفی با چنین الگویی وجود ندارد و فقط به‌صورت فریب توسط رفلکتورها به‌وجود آمده است). الگوی فریب ایجاد شده، با احتمال بسیار بالا منجر به خطای مفسرین این نوع عکس‌ها در آشکارسازی و شناسایی اهداف واقعی خواهد شد.



شکل ۹. تصویر بیمارستان کوثر شهر آستانه اشرفیه کادر رنگی محل ایجاد فریب، (a) ناحیه تست در تصویر مرئی، (b) ناحیه تست در تصویر راداری.

- [7] Lee, Y.; Park, J.; Shin, W.; Lee, K.; Kang, H. C. "A Study on Jamming Performance Evaluation of Noise and Deception Jammer against SAR Satellite"; IEEE Int. Conf. Synthetic Aperture Radar, 2011, 1-3.
- [8] Zhao, J.; Li, C.; Yin, J.; Shan, X.; Zhang, G.; Ye, F. "Effects Analysis of Machining Tolerance on RCS of Corner Reflectors"; Int. J. Digital Content Tech. 2011, 91-97.
- [9] Doerry, A. W. "Reflectors for SAR Performance Testing"; Sandia National Laboratories Reports, January 2008.
- [3] Bhattacharya, S.; Blumensath, T.; Mulgrew, B.; Davies, M. "Fast Encoding of Synthetic Aperture RADAR Raw Data Using Compressed Sensing"; in IEEE Conf., 2007, 448-452
- [4] Stimson, J. "Introduction to airborne radar"; 2nd edition, Sci. Tech. California, 1998.
- [5] Doring, B. J.; Looser, P. R.; Jirousek, M.; Schwerdt, M. "Reference Target Correction Based on Point Target SAR Simulation"; IEEE Trans. on Geosciences and Remote Sensing, 2012, 951-959.
- [6] Cumming, I. G.; Wong, F. H. "Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data Algorithms and Implementation"; Artech House, London, 2005.