

ارزیابی عملکرد روش‌های حذف لکه‌های راداری در دامنه‌ی مکانی و موجک

تقی محمدزاده زنگلانی^{۱*}، محمد توکلی صبور^۲، حمید رضا ریاحی بختیاری^۳، حسین صادقی^۴،
علی حسینی پور^۱

^۱ کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - گروه ژئوفورماتیک - دانشکده‌ی علوم جغرافیایی - دانشگاه خوارزمی
taghimohammadzadeh68@gmail.com
ali.hoseinypoor@gmail.com

^۲ استادیار گروه ژئوفورماتیک - دانشکده‌ی علوم جغرافیایی - دانشگاه خوارزمی
tavakkoli.khu_ac@yahoo.com

^۳ استادیار گروه علوم جنگل - دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین - دانشگاه شهرکرد
reza_reyahi@yahoo.com

^۴ کارشناس ارشد سنجش از دور - گروه عمران - دانشکده‌ی فنی - دانشگاه فردوسی مشهد
hosseinsadeghi83@yahoo.com

(تاریخ دریافت فروردین ۱۳۹۵، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۵)

چکیده

به منظور استفاده از تصاویر راداری، حذف لکه‌های راداری ضروری است. روش‌های کاهش لکه‌ها متناسب با هدف استفاده، عملکرد متفاوتی دارند. در این پژوهش روش‌های کاهش لکه‌های راداری در دو دامنه‌ی مکانی و موجک بر روی تصویر اعمال شدند و شاخص‌های ارزیابی RMSE و SNR برای تصاویر تست و شاخص SSI برای تصویر واقعی بکار گرفته شد. بر اساس نتایج بدست آمده پنج فیلترحوزه‌ی موجک، به مراتب عملکرد بهتری نسبت به سه فیلتر مکانی مورد استفاده داشتند. در بین فیلترهای حوزه‌ی موجک فیلتر 2-D Double-Density Dual-Tree Complex در مجموع عملکرد بهتری داشت. در ارزیابی عملکرد تصویر واقعی با استفاده از شاخص SSI تفاوت اندکی با ارزیابی نتایج تصاویر تست مشاهده شد، لذا بهتر است روش SSI را با توجه به کوچک بودن نواحی یکنواخت بر روی تصویر با احتیاط به کار برد و در صورت امکان با نتایج داده‌های تست و تفسیر بصری سنجید.

واژگان کلیدی: لکه‌های راداری، موجک، فیلترهای مکانی

۱- مقدمه

سیستم سنجش از دور رادار با روزه مصنوعی^۱، یکی از انواع سیستم‌هایی است که به صورت منسجم^۲ اقدام به تصویر برداری می‌نماید [۱۰]. ماهیت تصویر برداری منسجم در سنجش همزمان فاز و بزرگی سیگنال بازگشتی، باعث تداخل سیگنال‌های بازگشتی از سطح که پخش کننده‌های متعدد بر آن موثر است، می‌گردد که نتیجه آن ایجاد لکه‌های راداری^۳ است [۶]. سیستم‌های SAR علی‌رغم مزایای فراوانی چون قدرت تفکیک بالا، وابسته نبودن به شرایط جوی و شب و روز، قابلیت نفوذ در برخی پدیده‌ها همچون خاک، آب و پوشش گیاهی [۱۲]، دارای محدودیت‌های فراوانی هستند که ناشی از وجود لکه‌هاست. وجود لکه در تصاویر راداری مانع طبقه‌بندی خودکار آنها و کاهش کیفیت بصری تصویر می‌شود [۸]. از دیگر محدودیت‌های سیستم SAR می‌توان به کاهش قدرت تفکیک رادیومتریک، از دست رفتن وضوح تصویر، محدود شدن استخراج برخی عوارض به خصوص در شرایطی که کنتراست تصویر پایین باشد، اشاره کرد [۷]. روش‌های زیادی جهت کاهش لکه‌های راداری توسعه داده شده اند که عملکرد آنها وابسته به هدف و دقت مورد نیاز است. فیلترهای کاهنده‌ی لکه‌های راداری با توجه به دامنه‌ی اعمال فیلتر، به سه دسته‌ی فیلترهای حوزه‌ی مکان^۴ (فیلترهای استاندارد)، دامنه‌ی فرکانس^۵ و دامنه‌ی موجک^۶ تقسیم می‌شوند. کاهش وضوح تصویر از محدودیت‌های فیلترهای مکانی می‌باشد، بنابراین تبدیلات ریاضیاتی جهت ارائه‌ی تابع در دامنه‌های مختلف توسعه یافته اند که تبدیل فوری و ارائه‌ی اطلاعات فرکانسی تصویر و تبدیل موجک از آن جمله اند. تبدیل فوری اطلاعات فرکانسی را بدون اطلاعات زمانی ارائه می‌دهد، لذا تبدیل موجک جهت بدست آوردن اطلاعات فرکانس به طور موضعی و توأم با اطلاعات زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- مفاهیم پایه

۲-۱- لکه‌های راداری

همانطور که اشاره شد، لکه‌های راداری جزء ماهیت سیستم‌های تصویر برداری منسجم می‌باشد. اما از نظر تئوری، این لکه‌ها با استفاده از رابطه‌ی (۱) مدل می‌شوند:

$$J = I + n * I \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق، n نویز تصادفی با میانگین ۰ و واریانس V می‌باشد که به صورت ثابت توزیع شده است. همچنین، I ماتریس تصویر اصلی و J تصویر دارای لکه‌ی راداری می‌باشد [۶]. بر این اساس جهت اعمال شاخص‌های ارزیابی که نیاز به تصویر اصلی بدون نویز دارند می‌توان نویز را به صورت مصنوعی ایجاد نمود.

۲-۲- مبانی موجک

هر تابع دارای ویژگی‌های متمایزی است که شناخت آنها می‌تواند به تحلیل بهتر آن کمک کند. جهت رسیدن به این شناخت، تکنیک‌های ارائه‌ی تابع در دامنه‌های مختلف به کار می‌رود که یکی از مشهورترین این تکنیک‌ها، تبدیل فوری می‌باشد که اساس آن تجزیه تابع به نحوی است که تابع بتواند اطلاعات فرکانسی را نمایش دهد. شناخت نقاط ضعف تبدیل فوری اولین گام در شناخت تبدیل موجک می‌باشد. پر واضح است صرف اطلاعات فرکانسی یک تابع در برخی کاربردها کافی نمی‌باشد و اگر تابع نائبات باشد و اطلاعات فرکانسی آن موضعی تغییر کند، لاجرم باید تابع به صورتی ارائه گردد که اطلاعات فرکانس در زمان‌های مختلف بدست آید که البته برای این کار تبدیل فوری با پنجره‌هایی یکسان توسعه داده شد که باز هم با توجه به شدت‌های متفاوت تغییرات فرکانس، نیاز به تابعی بود که اطلاعات زمان و فرکانس را در رزولوشن‌های مختلف^۷ ارائه دهد. به همین منظور تابع موجک توسعه یافت.

تبدیل موجک [۲،۳]، یک سیگنال (تصویر) را به خانواده‌ای از توابع تجزیه می‌کند که از یک تابع اصلی به نام $\psi(x)$ یا mother wavelet ایجاد می‌شود که اتساع^۸ آن بوسیله‌ی J و انتقال^۹ آن بوسیله‌ی k نشان داده می‌شود.

$$\psi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \psi_j(2^j x - k) \quad (2)$$

نکته مهم در این جا این است که تفاوت اطلاعات بین تقریب‌های مختلف یک سیگنال در رزولوشن‌های 2^j و 2^{j+1} را می‌توان بوسیله‌ی تجزیه‌ی این سیگنال به مولفه‌های اصلی یکامتعامل^{۱۰} در $L^2(R)$ بدست آورد [۹]. لذا شرط یکامتعامل بودن باید صادق باشد.

^۷ Multiresolution

^۸ Dilations

^۹ Translations

^{۱۰} Orthonormal

^۱ Synthetic Aperture Radar

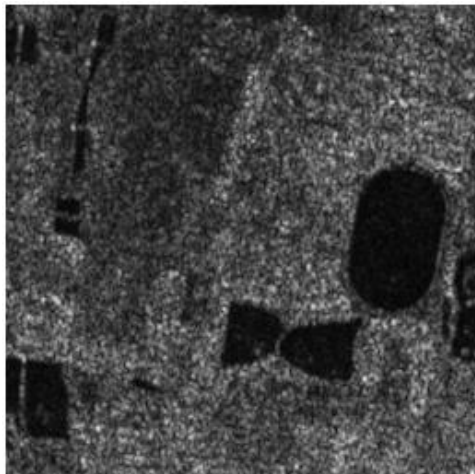
^۲ Coherence

^۳ Speckle

^۴ Spatial Domain

^۵ Frequency Domain

^۶ Wavelet Domain



شکل ۲- تصویر راداری واقعی دارای لکه‌های راداری

۲-۳- روش شناسی پژوهش

در این پژوهش ابتدا نویز با واریانس‌های مختلف ۰/۰۵ و ۰/۱۰۸ و ۰/۳۰ روی تصویر بدون نویز اعمال گردیده و عملکرد سه فیلتر مکانی Enhanced Lee, Kuan و Enhanced Frost با دو شاخص RMSE و SNR مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس جهت بدست آوردن فیلتر مناسب و حد آستانه بهینه در دامنه‌ی موجک، ابتدا تبدیل لگاریتم بر روی تصویر انجام شده تا ماهیت ضربی آن تبدیل به ماهیت جمع شوند. پس از این فرایند با تجزیه‌ی^۱ تصویر به عناصر اصلی آن، امکان اعمال روشهای حوزه‌ی موجک فراهم می‌آید. در این پژوهش از پنج فیلتر Real 2-D, Separable 2-D, Complex 2-D dual-tree 2-D Double-Density Dual-Tree, 2-D Double-Density Dual-Tree Real Complex استفاده شده است و با مقایسه‌ی دو شاخص RSME و SNR بین آنها، عملکرد هر فیلتر و حدآستانه‌ی بهینه برای هر فیلتر مشخص می‌شود.

در نهایت برای اعمال روش موجک بر روی تصویر واقعی، همانند مرحله‌ی قبل، تجزیه، اعمال روشها و بازساخت صورت می‌پذیرد، لکن به دلیل فقدان تصویر بدون نویز راداری، نمی‌توان از شاخص‌های ارزیابی صحت RMSE و SNR استفاده کرد. به همین منظور از شاخص SSI^۲ استفاده می‌گردد. بر مبنای شاخص SSI ناحیه‌ای از تصویر که یکنواخت می‌باشد، قبل و بعد از اعمال روش در نظر گرفته می‌شود که هر چه این شاخص کوچک‌تر باشد، بهتر

تابع موجک گسسته یک سیگنال $f(x)$ می‌تواند بوسیله‌ی فرمول‌های زیر تجزیه و تحلیل گردد:

$$C_{j,k} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\psi_{j,k}^*(x)dx \quad (3)$$

$$f(x) = \sum_{j,k} C_{j,k}\psi_{j,k}(x)$$

$C_{j,k}$ زمانی که تقریب ضرایب یک سیگنال باشند.

تابع mother wavelet نیز از تابع φ یا $\text{Scaling}(x)$ ساخته می‌شود و یا به عبارتی آنالیز موجک با دو تابع اصلی mother wavelet و scaling خانواده‌ای از توابع را تشکیل می‌دهند:

$$\varphi(x) = \sqrt{2} \sum h_0(n)\varphi(2x - n) \quad (4)$$

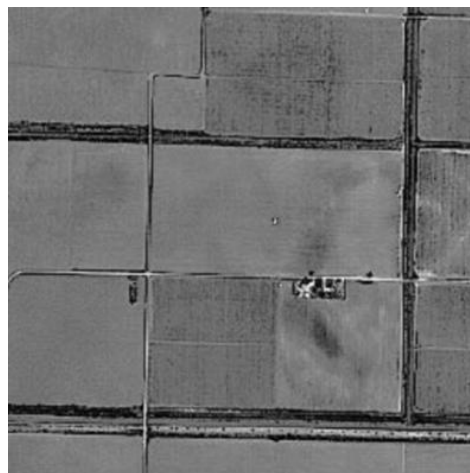
$$\psi(x) = \sqrt{2} \sum h_1(n)\varphi(2x - n)$$

توابع مختلف mother wavelet و scaling هدف نهایی تبدیل موجک یعنی ارائه‌ی اطلاعات فرکانسی تابع در رزولوشن‌های متفاوت را بدست می‌دهند.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- داده‌های مورد استفاده

به منظور مقایسه‌ی فیلترهای مکانی و موجک برای کاهش لکه‌های راداری، از تصویر اپتیک بدون نویز استفاده شده است که به طور مصنوعی به آن نویز اضافه گردیده است (شکل ۱). همچنین از تصویر سنجنده‌ی SAR ماهواره‌ی Radarsat که دارای لکه‌های راداری است به منظور بررسی واقعی عملکرد فیلترها بهره گرفته شده است (شکل ۲).



شکل ۱- تصویر اپتیک مورد استفاده برای اعمال نویز و فیلتر

^۱ Decomposition

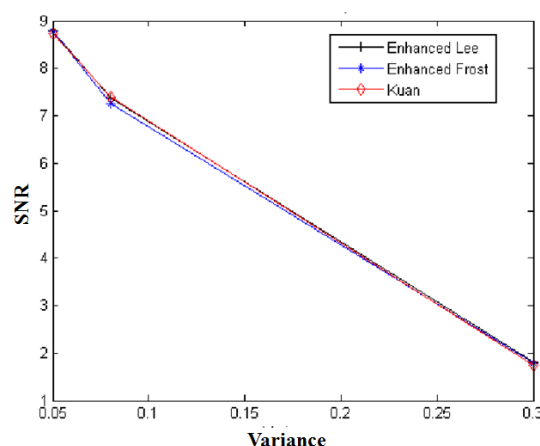
^۲ Speckle Suppression Index

است [۱۱]. ایراد این شاخص، عدم نظر گرفتن تفاوت پدیده‌هایی مانند آب و آب موج است که ماهیت متفاوتی دارند. اگر ناحیه‌ی یکنواخت بر روی تصویر کوچک بود احتمال مغایرت نتایج آن با نتایج تصاویر تست و روش‌های RMSE و SNR وجود دارد که با مقایسه آن با تفسیر بصری و نتایج تصویر تست می‌توان تحلیل‌های صحیح ارائه داد.

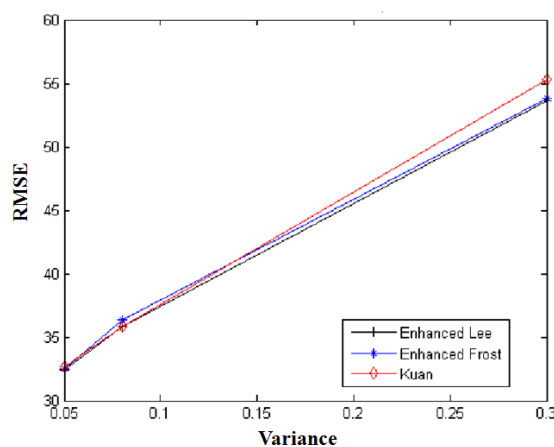
۴- نتایج و یافته‌ها

۴-۱- ارزیابی عملکرد فیلترهای مکانی

پس از اعمال نویز با واریانس‌های مختلف روی تصاویر، عملکرد سه فیلتر مکانی Enhanced Lee، Enhanced Frost و Kuan با دو شاخص RMSE و SNR سنجیده شده است. نتایج ارزیابی صحت آنها در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳- نمودار SNR فیلترهای مکانی بر حسب واریانس



شکل ۴- نمودار RMSE فیلترهای مکانی بر حسب واریانس

با توجه به نمودارهای شکل ۳ و ۴، فیلتر مکانی Enhanced Lee با توجه به دو شاخص RMSE و SNR نسبت به دو فیلتر دیگر، صرفنظر از واریانس نویز، عملکرد مطلوب‌تری دارد. همچنین فیلتر Kuan برای نویزهایی با واریانس زیاد نامطلوب است، اما در واریانس‌های کمتر، عملکرد آن تفاوت چندانی با فیلتر Enhanced Frost ندارد. همچنین مشخص است با افزایش واریانس نویز، شاخص RMSE افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر چنانچه واریانس مقادیر نویز بیشتر باشد، دقت و عملکرد فیلترها کاهش می‌یابد.

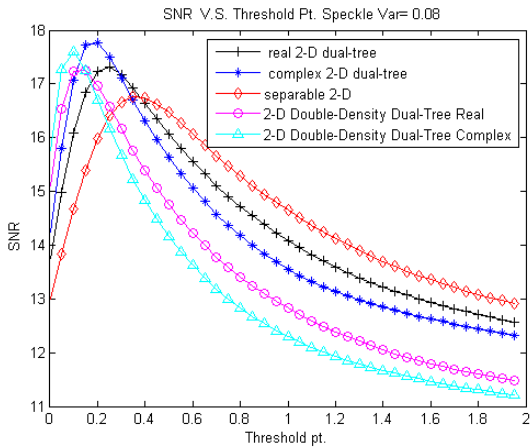
۴-۲- ارزیابی عملکرد فیلترهای حوزه‌ی موجک

در اعمال فیلترهای حوزه‌ی موجک، از تصویر تست با نویز مصنوعی و یک تصویر واقعی استفاده شده است، به طوریکه تبدیل موجک ابتدا بر روی تصویر تست به کار رفته و روش‌های اشاره شده بر روی آن اعمال گردیده و سپس با بازساخت و برگرداندن تصویر به حوزه‌ی مکان به وسیله‌ی شاخص‌های RMSE و SNR مورد ارزیابی قرار گرفته اند. برای تصویر واقعی نیز با اعمال روش‌ها جهت ارزیابی از روش SSI استفاده شده است که با در نظر گرفتن یک ناحیه‌ی یکنواخت روی تصویر اقدام به ارزیابی می‌کند که اگر این ناحیه یکنواخت بزرگتر باشد دقت شاخص نیز بالاتر می‌رود.

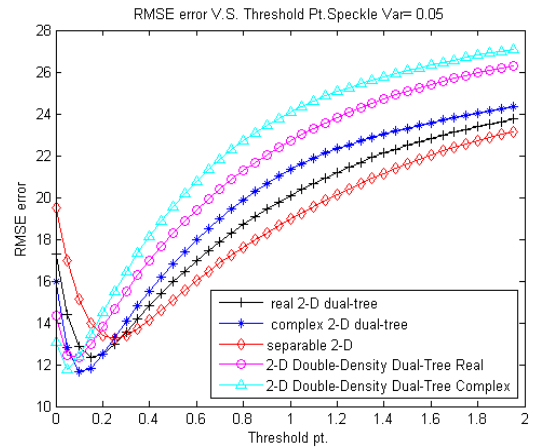
۴-۲-۱- نتایج اعمال فیلترهای دامنه‌ی موجک بر

روی تصاویر با نویز ساختگی

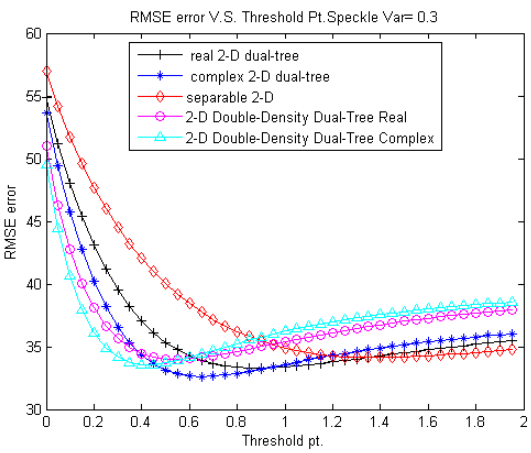
پس از اعمال پنج فیلتر در دامنه‌ی موجک بر تصاویری که با واریانس‌های مختلف نویزدار شده‌اند و بر اساس شاخص‌های RMSE و SNR نتایج زیر بدست آمد. با توجه به نمودارهای شکل ۵، حد آستانه‌ی مطلوب هر فیلتر بر اساس مینیمم نمودار RMSE یا ماکزیمم نمودار SNR مشخص می‌شود. همچنین مشخص است که با افزایش واریانس نویز، مقدار حد آستانه‌ی مطلوب نیز بیشتر می‌شود.



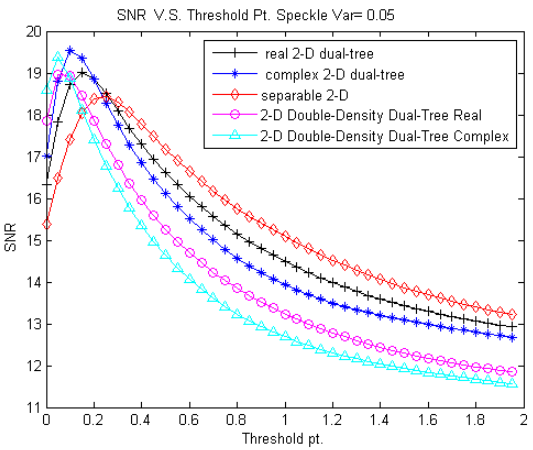
شکل ۵-د) عملکرد فیلترهای حوزه‌ی موجک بر اساس شاخص SNR در واریانس نویز ۰/۰۸



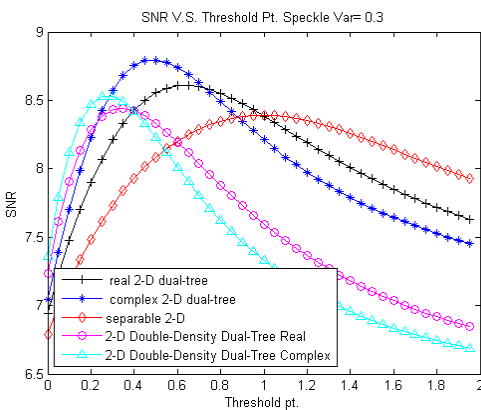
شکل ۵-الف) عملکرد فیلترهای حوزه‌ی موجک بر اساس شاخص RMSE در واریانس نویز ۰/۰۵



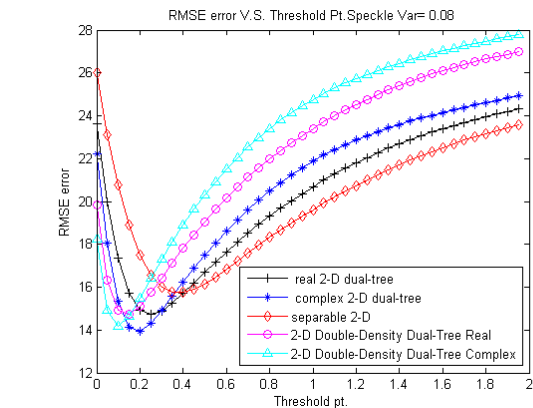
شکل ۵-ه) عملکرد فیلترهای حوزه‌ی موجک بر اساس شاخص RMSE در واریانس نویز ۰/۳۰



شکل ۵-ب) عملکرد فیلترهای حوزه‌ی موجک بر اساس شاخص SNR در واریانس نویز ۰/۰۵



شکل ۵-و) عملکرد فیلترهای حوزه‌ی موجک بر اساس شاخص SNR در واریانس نویز ۰/۳۰



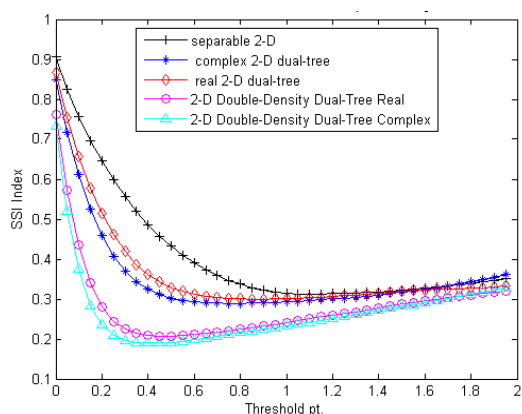
شکل ۵-ج) عملکرد فیلترهای حوزه‌ی موجک بر اساس شاخص RMSE در واریانس نویز ۰/۰۸

حدآستانه‌ی خویش بهترین عملکرد را دارند. همچنین فیلتر Separable 2-D برای حدآستانه‌های بیشتر از حدآستانه‌ی مطلوب و فیلتر 2-D Double-Density Dual-Tree Complex

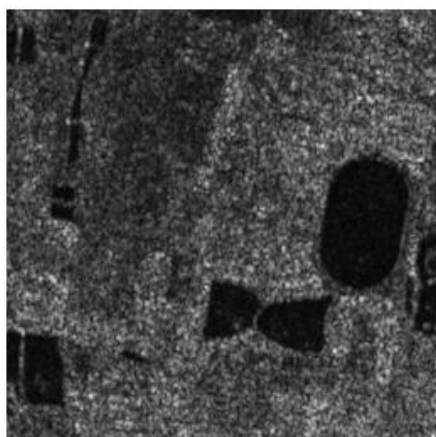
با توجه به شکل‌های ۵ و شاخص‌های RMSE و SNR، صرفنظر از واریانس نویز، فیلترهای Complex 2-D dual-tree و 2-D Double-Density Dual-Tree Complex در

۲-۲-۴- نتایج اعمال فیلترهای دامنه‌ی موجک بر روی تصویر واقعی

با توجه به نمودارهای شکل ۷، روش‌های 2D Double Density dual tree complex و Density dual tree complex عملکرد بهتری از سایر روش‌ها دارند، همچنین روش tree real عملکرد بهتری از سایر روش‌ها دارند، اما اختلاف آن با دو روش اول قابل ملاحظه می‌باشد. دلیل اختلاف نتایج این روش در ماهیت روش SSI نهفته است. زیرا این روش با در نظر گرفتن یک ناحیه‌ی یکنواخت در تصویر عمل می‌کند و هرچه ناحیه یکنواخت بر روی تصویر کوچکتر باشد، نتایج آن دقت کمتری دارد. همچنین ماهیت این روش در عدم تمییز پدیده‌های شبیه مانند آب و آب موج نیز تعیین کننده است. تلفیق روش‌های ارزیابی با مشاهدات بصری می‌تواند در انتخاب بهترین فیلتر برای هر تصویر راهگشا باشد، به طوری که طبق نتایج این پژوهش فیلتر بهینه انتخاب شده در تصویر مصنوعی از لحاظ بصری کیفیت بهتری از فیلتر انتخاب شده در تصویر واقعی با استفاده از شاخص SSI را دارد. شکل ۸ نتیجه‌ی اعمال فیلترها را نشان می‌دهد.

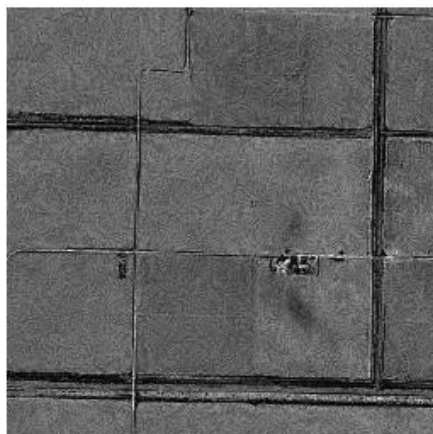


شکل ۷- نمودار شاخص SSI فیلترهای موجک در تصاویر واقعی

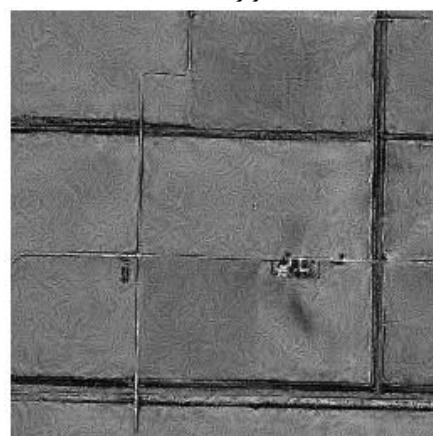


شکل ۸- الف) تصویر رادار با نویز اولیه

برای مقادیر کمتر از حدآستانه‌ی مطلوب، بهترین عملکرد را دارند. قابل ذکر است که عملکرد فیلتر Separable 2-D نسبت به سایر فیلترها نسبت به انتخاب حدآستانه، مستقل تر است. به عنوان نمونه، نتایج اعمال فیلتر Complex 2-D dual-tree در دامنه‌ی موجک روی تصاویر با واریانس نویز متفاوت، در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- الف) نتایج اعمال فیلتر Complex 2-D dual-tree بر تصویر با نویز ۰/۰۵



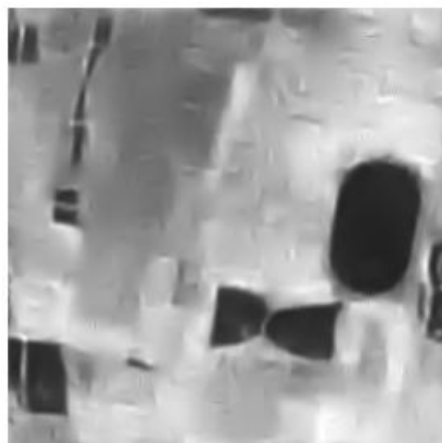
شکل ۶- ب) نتایج اعمال فیلتر Complex 2-D dual-tree بر تصویر با نویز ۰/۰۸



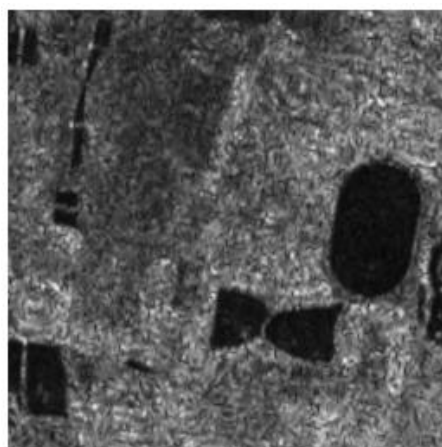
شکل ۶- ج) نتایج اعمال فیلتر Complex 2-D dual-tree بر تصویر با نویز ۰/۳۰

۵- نتیجه گیری

انتخاب روش بهینه کاهش لکه‌های راداری به شناخت ماهیت روش، واریانس نویز، انتخاب حدآستانه و... وابسته است. بر مبنای نتایج این پژوهش، به طور کلی چنانچه در فیلترهای حوزه‌ی موجک، حدآستانه‌ی مناسب انتخاب شود، همه‌ی آنها نسبت به فیلترهای مکانی عملکرد به مراتب بهتری دارند. به عنوان مثال با واریانس نویز ۰/۰۵ و انتخاب بهترین حدآستانه، مقدار RMSE فیلترهای دامنه‌ی موجک کمتر از ۱۴ خواهد بود، ولی در دامنه‌ی مکان این مقدار کمتر از ۳۲ نخواهد بود. در مجموع از میان فیلترهای حوزه‌ی موجک فیلترهای Complex 2D dual tree و 2-D Double-Density Dual-Tree Complex عملکرد بهتری دارند.



شکل ۸- ب) اعمال فیلتر 2-D Double-Density Dual-Tree Complex



شکل ۸- ج) اعمال فیلتر Complex 2D dual tree

مراجع

- [1] Bhonsle, D. a. (2012). Comparative Study of dual-tree complex wavelet transform and double density complex wavelet transform for Image Denoising Using Wavelet-Domain. International Journal of Scientific and Research Publications , 2 (7), 1-5.
- [2] Boggess, A. a. (2009). A first course in wavelets with Fourier analysis. Texas: Wiley.
- [3] Cohen, A. a. (1996). Wavelets: The mathematical background. Proceedings of the IEEE , 84 (4), 514-522.
- [4] Cui, Y. a. (2012). Image Despeckling Based on LMMSE Wavelet Shrinkage. PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY , 88 (7), 269-272.
- [5] Gagnon, L. a. (1997). Speckle Filtering of SAR Images - A Comparative Study Between Complex-Wavelet-Based and Standard Filters. In Optical Science, Engineering and Instrumentation'97 (pp. 80-91). Montreal: Departement de R&D, Lockheed Martin Canada.
- [6] Gnanadurai, D. a. (2005). Undecimated wavelet based speckle reduction for SAR images. Pattern Recognition Letters , 26 (6), 793-800.
- [7] Gupta, K. K. (2007). Despeckle and geographical feature extraction in SAR images by wavelet transform. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing , 62 (6), 473-484.
- [8] Henderson, F. M. (1998). Manual of Remote Sensing, Volume 2, Principles and Applications of Imaging Radar (3 ed., Vol. 2). Texas: Wiley.
- [9] Mallat, S. G. (1989). A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence , 11 (7), 674-693.
- [10] Richards, J. A. (2009). Remote sensing with imaging radar. Canberra, Australia: Springer.
- [11] Sheng, Y. a.-G. (1996). A comprehensive evaluation of filters for radar speckle suppression. Geoscience and Remote Sensing Symposium. 3, pp. 1559-1561. Boston: IEEE.
- [12] Woodhouse, I. H. (2005). Introduction to microwave remote sensing. Crc Press Taylor & Francis.