

ارائه الگوریتمی بهینه برای حذف نوفه اسپیکل speckle از تصاویر

رادار بر پایه تبدیل موجک

نوشته: دکتر محمد جواد ولدان زوج*، دکتر حمید ابریشمی مقدم** و مریم دهقانی***

An Efficient Algorithm for Speckle Noise Reduction in SAR Images Using Wavelet Transformation

By: Dr. M. J. Valadan Zouj*, Dr. H. Abrishami Moghadam** & M. Dehghani***

چکیده

امروزه تصاویر رادار، در مقایسه با تصاویر نوری، قابلیت ویژه‌ای در کاربردهای مختلف زمین‌شناسی نشان داده‌اند. از جمله این کاربردها، استخراج خطوطاره‌ها و گسلها، تهیه مدل رقومی زمین و تعیین جا به جاییها و دگرشکلی در اثر زمین لرزه است. ولی به دلیل وجود نوعی نوفه به نام اسپیکل در داده‌های راداری، این تصاویر، کیفیت رادیومتری پایینی دارند. انجام تصحیحات رادیومتری تصاویر رادار، در بهبود کیفیت این تصاویر برای استفاده بهینه از آنها، اهمیت ویژه‌ای دارد.

در این مقاله، الگوریتمی بهینه برای کاهش نوفه اسپیکل از تصاویر راداری با استفاده از تبدیل موجک ارائه شده است. با در نظر گرفتن یک تابع گوسی دو بعدی به عنوان بهترین مدل قابل برازش به سطح مقطع یک نوفه اسپیکل در لگاریتم تصویر حاوی نوفه، یک فیلتر پایین گذر گوسی برای تجزیه تصویر به ضرایب موجک با به کارگیری الگوریتم *a trous* انتخاب می‌شود. سپس یک برآورد کننده بیز برای برآورد بهترین مقدار ضرایب موجک سیگنال بدون نوفه در تصویر به کار گرفته می‌شود. این برآورد بر اساس توابع توزیع مربوط به ضرایب موجک سیگنال و نوفه تصویر که به ترتیب توابع توزیع آلفا-استیبل و گوسی هستند عمل می‌کنند. مقایسه کیفی و کمی روش پیشنهادی با روشهای موجود برای کاهش نوفه اسپیکل از تصاویر رادار، نشان دهنده عملکرد بهینه این الگوریتم است.

کلید واژه‌ها: حذف نوفه اسپیکل، برآورد کننده بیز، تبدیل موجک، تابع توزیع آلفا-استیبل، الگوریتم «*a-trous*».

Abstract

Recently radar images have a large ability in different geological applications compared with the optical images. These applications are based on lineament and fault extraction, DEM generation and displacement determination. But radar images are introduced to a kind of speckle noise called speckle noise, which decreases the image quality and interpretability. Therefore, radiometric correction is an important step to increase the quality of radar images before using them. In this paper, an improved speckle noise reduction method is presented based on wavelet transform. A 2D Gaussian function is found to be the best model fitted to the speckle noise pattern cross-section in the logarithmically transformed noisy image. Therefore, a Gaussian low pass filter using *a trous* algorithm has been used to decompose the image. A Bayesian estimator is applied to the wavelet coefficients of the logarithmically transformed image to estimate the best value for the noise-free signal. This estimation is based on alpha-stable and Gaussian distribution hypotheses for wavelet coefficients of the signal and noise, respectively. Quantitative and qualitative comparisons of the results obtained by the new method with the results achieved from the other speckle noise reduction techniques demonstrate its higher performance for speckle reduction in SAR images.

Key words: Speckle noise reduction, Bayesian estimator, Wavelet transform, Alpha-stable distribution, "*a trous*" algorithm.

۱- مقدمه

و خطوطاره‌ها را دارند. امواج مایکرو ویو بر خلاف امواج نوری، می‌توانند در شرایط خاص تا حدی در زمین نفوذ کنند. در نتیجه تصاویر رادار،

به دلیل تصویربرداری نوع فعال سنجنده‌های رادار و نیز ویژگی امواج مایکروویو، تصاویر رادار توانایی آشکار سازی عوارض خطی مانند گسلها

گذر نوع اول نشان دهنده عملکرد برتر آنها در امر کاهش نوفه اسپیکل در تصویر است. به طور کلی یک روش موفق در امر کاهش نوفه در تصویر باید دارای ویژگیهای زیر باشد:

- واریانس نوفه را در مناطق همگون تصویر کاهش دهد.

- اطلاعات بافت، لبه‌ها و خطوط را در تصویر حفظ کند.

- اهداف نقطه‌ای را از اعمال الگوریتم بر روی آنها خارج سازد.

- و سرانجام در اثر اعمال الگوریتم عوارض مصنوعی در تصویر ایجاد نشود.

در کلیه فنون کاهش نوفه اسپیکل، توزیع آماری داده‌های راداری نقش مهمی را در الگوریتم به کار گرفته شده، دارند. این ویژگیهای آماری را می‌توان برای ایجاد فیلترهای خاص به کار گرفت.

نکته قابل توجه در تمام فنون موجود این است که اطلاعات مربوط به لبه‌ها و خطوط در تصویر از بین می‌رود. بنابراین روشهای مبتنی بر فیلترهای مکانی، روشهای مناسبی در حفظ جزئیات مکانی در تصویر نیستند. به تازگی تبدیل موجک ابزاری قوی در پردازش تصویر شده است (۷).

ضرایب موجک یک تصویر شامل اطلاعات بسامد بالای تصویر است. از آنجا که نوفه اسپیکل یک مؤلفه بسامد بالا در تصویر است، در ضرایب موجک تصویر ظاهر می‌شود. یک روش رایج برای کاهش نوفه بر مبنای تبدیل موجک، "کاهش ضرایب موجک" با استفاده از یک مقدار حد آستانه است که مقدار آن بر اساس ویژگی آماری داده‌های نوفه‌ای محاسبه می‌شود (۹و۸). بر مبنای این روش، ضرایب بزرگ تصویر، متناظر با سیگنال است و ضرایب کوچک‌تر نوفه را نشان می‌دهد. با اصلاح مناسب ضرایب موجک تصویر، نوفه موجود در تصویر کاهش می‌یابد. از معایب عمده این روش، انتخاب بهترین مقدار حد آستانه است که بر اساس قاسنون و بسرهان محکمی انجام نمی‌گیرد. برای حل این مشکل، Achim et al. (2001) روشی را برای کاهش نوفه اسپیکل از تصاویر فراصوتی پزشکی بر مبنای برآورد کننده بیز ارائه داده است (۱۰). در این روش، از روش کمترین مربعات برای برآورد توابع توزیع ضرایب موجک نوفه و سیگنال استفاده می‌شود. سپس یک برآورد کننده بیز برای برآورد بهترین مقدار ضرایب موجک عاری از نوفه به کار گرفته می‌شود.

مقاله موجود یک الگوریتم بهینه برای کاهش نوفه اسپیکل بر مبنای برآورد کننده بیز با به کارگیری روش $a \text{ trous}$ برای تجزیه تصویر به ضرایب موجک به کار می‌برد (۱۱و۱۲و۱۳). افزون بر این، نشان داده می‌شود که تابع لاپلاسین گوسی (LOG) بهترین تابع موجک برای تجزیه تصویر به ضرایب موجک در مساله کاهش نوفه اسپیکل است. از آنجا که با به کارگیری این تابع موجک بازسازی کامل تصویر با استفاده از ضرایب موجک آن امکان پذیر نیست، الگوریتم $a \text{ trous}$ برای اخذ ضرایب موجک تصویر با به کارگیری یک فیلتر پایین گذر گوسی استفاده

حاوی اطلاعاتی از عمق زمین هستند. برای مثال، گسلهای فاقد رخنمون سطحی، به کمک تصاویر رادار قابل استخراج هستند. همچنین در دهه اخیر تداخل سنجی با استفاده از داده‌های راداری به عنوان فنی امیدبخش مستقل از نورخورشید و پوشش ابر برای تهیه نقشه زمینی، توپوگرافی یخ و اندازه گیری جابه‌جاییهای کوچک در مقیاس بزرگ زمانی و مکانی با دقت زیر سانتی متر معرفی شده است. فن INSAR ابزاری دقیق برای آشکار سازی تغییرات سطحی زمین در اثر زمین لرزه و فعالیتهای آتشفشانی است. فرایند تداخل سنجی سیگنالهای SAR نه تنها برای آشکار سازی تغییرات سطح زمین بلکه برای استخراج مدل ارتفاعی رقومی سطح زمین (DEM) نیز به کار می‌رود و همچنین امکان ژئوکد کردن کامل (سه بعدی) تصاویر SAR را فراهم می‌سازد. کاربردهای فن INSAR امروزه با سرعت بالا رو به افزایش است و نیاز به این فناوری در سراسر دنیا، به ویژه در مناطق لرزه‌خیز از جمله ایران، احساس می‌شود. لذا این تصاویر در کاربردهای زمین شناسی و اکتشاف اهمیت ویژه‌ای دارند.

فنون تصویربرداری منسجم مانند تصویربرداری لیزر، SAR و فراصوتی پزشکی به دلیل داشتن خاصیت منسجم، تصاویری ایجاد می‌کنند که دارای نوفه ویژه‌ای به نام نوفه اسپیکل هستند (۱). این نوفه در اثر برخورد های سازنده و مخرب امواج رسیده از هدف به سنجنده در تصویر ایجاد می‌شود که به صورت نقاط تاریک و روشن در تصویر ظاهر می‌گردد. این نوفه کیفیت رادیومتری تصاویر رادار و قابلیت تفسیر آنها را به شدت کاهش می‌دهد. تا کنون تلاشهای زیادی برای حذف این نوفه از تصاویر رادار انجام گرفته است. در روشهای ارائه شده، هدف افزایش میزان نسبت سیگنال به نوفه و حفظ لبه‌ها و خطوط در تصویر است.

به طور کلی، دو روش اصلی برای کاهش نوفه اسپیکل در تصویر وجود دارد. روش اول که با نام روش چند منظره معروف است، پیش از ایجاد تصویر در سنجنده به کار می‌رود (۲). در این روش آنتن سنجنده به چندین بخش تقسیم می‌شود و هر بخش به طور مجزا از هدف تصویر برداری می‌کند. در پایان، تصویر نهایی از میانگین تصاویر اخذ شده به دست می‌آید. اعمال میانگین باعث کاهش انحراف معیار تصویر حاوی نوفه می‌شود. در نتیجه نوفه اسپیکل در تصویر کاهش می‌یابد. روش دوم، اعمال فیلتر بر روی تصویر حاوی نوفه است (۳و۴). در این روش دو نوع فیلتر استفاده می‌شود. نوع اول، عموماً شامل فیلترهای پایین گذر است که در سراسر تصویر عملکرد یکسانی دارند. این فیلترها مانند فیلترهای میانگین و مانه، تصویر حاوی نوفه را به میزان زیادی نرم می‌کنند. دسته دوم فیلترها، فیلترهای تطبیقی هستند که به منظور کاهش نوفه اسپیکل در تصویر طراحی شده‌اند (۵و۶). ضرایب این فیلترها متغیر است و با توجه به اطلاعات آماری مربوط به محدوده‌ای از تصویر که در زیر پنجره فیلتر قرار دارد محاسبه می‌شوند. نتایج حاصل از فیلترهای تطبیقی در مقایسه با فیلترهای پایین

گوسی استفاده شود. الگوریتم a trous از این جهت که نیاز به کاهش تعداد نمونه‌ها ندارد، قابل اهمیت است. این امر منجر به کاهش ایجاد عوارض مصنوعی در تصویر می‌شود. همچنین خاصیت "استقلال ازانتقال" یکی از ویژگیهای مهم دیگر الگوریتم a trous است. در مسئله کاهش نوفه اسپیکل، این خاصیت می‌تواند باعث بهبود عملکرد الگوریتم شود.

مرحله اول پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی، مدل سازی پراکنندگی ضرایب موجک سیگنال و نوفه به کمک توابع توزیع است. ضرایب موجک مؤلفه سیگنال به وسیله تابع توزیع $S\alpha S$ که جزو توابع توزیع Heavy tailed است به بهترین شکل مدل می‌شود. تابع توزیع $S\alpha S$ فرم صریح ندارد و با تابع ویژگی خود به صورت زیر قابل تعریف است:

$$\varphi(\omega) = \exp(j\delta\omega - \gamma|\omega|^\alpha) \quad (3)$$

که در این رابطه متغیر α ($0 < \alpha \leq 2$) توان مشخصه نامیده می‌شود. مقادیر کوچک این پارامتر ویژگی غیر گوسی بودن تابع توزیع $S\alpha S$ را نشان می‌دهد. حال آنکه نزدیک بودن آن به عدد ۲، نشان دهنده گوسی بودن تابع توزیع است. پارامتر δ ($-\infty < \delta < \infty$) پارامتر موقعیت و γ ($\gamma > 0$) معادل با پارامتر واریانس در تابع توزیع گوسی است. مؤلفه نوفه، e ، نیز توسط تابع توزیع گوسی با میانگین صفر مدل می‌شود (۱۰). تابع ویژگی توزیع گوسی به صورت زیر است:

$$\varphi_e(\omega) = \exp(j\delta\omega - \frac{\sigma^2}{2}|\omega|^2) \quad (4)$$

که در آن δ پارامتر میانه و σ واریانس نوفه است. در روش پیشنهادی، یک بر آورد کننده بیز توابع توزیع $S\alpha S$ و گوسی را به عنوان اطلاعات اولیه برای بر آورد بهترین مقدار سیگنال عاری از نوفه به کار می‌برد. هدف در طراحی این بر آورد کننده کمینه کردن مقدار خطای شرطی بر اساس رابطه زیر است:

$$\hat{s}(d) = \arg \min_s \int L[s, \hat{s}(d)] P_{s|d}(s|d) ds \quad (5)$$

در این رابطه $L[\cdot]$ تابع زیان و $\hat{s}(d)$ میانگین تحت تابع توزیع شرطی s و d ضرایب موجک تصویر است (۱۴ و ۱۵). بر آورد کننده بیز در صورت استفاده از تابع هزینه کوادراتیک، خطای ریشه دوم را کمینه می‌کند. خطای ریشه دوم برای متغیرهای تصادفی که ممان دوم محدود داشته باشند، قابل تعریف است. از آنجا که ممان درجه دوم تابع توزیع $S\alpha S$ نامحدود است، به جای استفاده از خطای ریشه دوم در طراحی بر آورد کننده از خطای قدر مطلق به عنوان تابع زیان استفاده می‌کنیم. با به

$$\hat{s}(d) = \frac{\int P_e(e) P_s(s) \cdot s \cdot ds}{\int P_e(e) P_s(s) \cdot ds} \quad (6)$$

که در این رابطه $P_e(e)$ و $P_s(s)$ به ترتیب توابع توزیع سیگنال و نوفه است. برای به کارگیری رابطه (۶) در بر آورد سیگنال عاری از نوفه،

می‌شود. در این حالت، می‌توان تصویر را به طور کامل از ضرایب موجک آن بازسازی کرد. در بخش بعد، الگوریتم پیشنهادی برای حذف نوفه اسپیکل از تصاویر راداری ارائه می‌شود. بخش ۴ نتایج کیفی و کمی حاصل از الگوریتم پیشنهادی و الگوریتمهای موجود دیگر را نشان می‌دهد. در پایان، نتیجه گیری کلی و پیشنهادهایی برای بهینه سازی الگوریتم پیشنهادی در بخش پایانی ارائه می‌شود.

۳- الگوریتم پیشنهادی جهت کاهش نوفه اسپیکل

یک مدل ساده برای تصویر دارای نوفه اسپیکل، مدلی ضرب شونده به صورت زیر است:

$$Y(x, y) = S(x, y) \cdot N(x, y) \quad (1)$$

که در این رابطه Y و S و N به ترتیب داده نوفه‌ای، سیگنال و نوفه را نشان می‌دهند. برای تغییر این مدل به مدل نوفه جمعی لگاریتم گیری از دو طرف رابطه (۱) انجام می‌شود. رابطه ۲ نتیجه عمل لگاریتم گیری از مدل ارائه شده در ۱ است.

$$f(x, y) = s(x, y) + e(x, y) \quad (2)$$

که در آن f و s و e به ترتیب لگاریتمهای داده نوفه‌ای، سیگنال و نوفه را نشان می‌دهند. مرحله بعد محاسبه ضرایب موجک $f(x, y)$ است. یکی از موارد مهم و قابل توجه در به کارگیری تبدیل موجک در یک مسئله، انتخاب بهترین الگوریتم و تابع موجک در اخذ ضرایب موجک است. از آنجا که هدف ما جداسازی نوفه اسپیکل از تصویر است، بهترین تابع موجک تابعی است که شکل آن شبیه به الگوی نوفه اسپیکل باشد. به منظور تعیین الگوی نوفه اسپیکل، میانگین چندین سطح مقطع از نمونه‌های مختلف نوفه اسپیکل در تصویر رادار در جهت x و y محاسبه و رسم شده است. با توجه به سطوح مقطع حاصله، بهترین تابع قابل برآزش به الگوی نوفه اسپیکل، تابع گوسی دو بعدی است. شکل ۱ سطوح مقطع میانگین تعدادی نوفه اسپیکل در تصویر در جهت x و y به همراه بهترین تابع گوسی برآزش داده شده به آنها را نشان می‌دهد.

با توجه به گوسی بودن الگوی نوفه اسپیکل، تابع لاپلاسین گوسی LOG به عنوان بهترین تابع موجک از میان دیگر توابع موجک برای تجزیه تصویر انتخاب می‌شود. اما به دلیل عدم باز سازی کامل تصویر تجزیه شده به کمک تابع LOG، از تابع موجک دیگری به نام *Coiflet* با طول فیلتر ۶ که شکل آن شبیه به تابع LOG است، استفاده می‌شود. با به کارگیری موجک *Coiflet* در الگوریتم *Mallat* برای تجزیه تصویر، باز سازی کامل تصویر امکان پذیر است. پیشرفتهای بیشتر در عملکرد الگوریتم هنگامی حاصل می‌شود که به جای الگوریتم *Mallat* از الگوریتم a trous و به جای تابع موجک *Coiflet* از فیلتر پایین گذر

که در این رابطه، Δs ، $\Delta \hat{s}$ ، نتایج حاصل از فیلتر بالاگذر لاپلاسین است. نزدیکی مقدار کمیت ضریب همبستگی به عدد ۱ نشان دهنده حفظ بیشتر لبه‌ها و خطوط در تصویر است. جدول (۱) نتایج کمی حاصل از روشهای مختلف کاهش نوفه اسپیکل در تصویر را نشان می‌دهد.

همان گونه که در جدول دیده می‌شود، روش پیشنهادی در کاهش نوفه هنگام به کارگیری الگوریتم *a trous* در تجزیه موجک تصویر نتایج بهتری را در مقدار نسبت سیگنال به نوفه و حفظ لبه‌ها و خطوط در تصویر در مقایسه با روشهای دیگر نشان می‌دهد. شکل ۳ نتایج حاصل از چندین روش اعمال شده بر روی تصویر نوفه‌ای را نشان می‌دهد.

همان طور که دیده می‌شود، از نظر کیفی نیز روش ارائه شده عملکرد بهتری در مقایسه با روشهای دیگر دارد. شکل ۴ نیز نتایج به کارگیری روشهای مختلف کاهش نوفه را بر روی یک تصویر نوفه‌ای SAR نشان می‌دهد.

۵- نتیجه گیری و پیشنهادها

در این مقاله، روشی جدید برای کاهش نوفه اسپیکل در فضای موجک با به کارگیری الگوریتم *a trous* ارائه شد. نکته قابل توجه در این مقاله، انتخاب بهترین تابع موجک و الگوریتم تبدیل برای تجزیه تصویر است. در مطالعات انجام گرفته بر روی الگوی نوفه اسپیکل، بهترین مدل قابل برازش تابع گوسی دو بعدی بود که در انتخاب بهترین تابع موجک برای تجزیه تصویر به ضرایب موجک در نظر گرفته شد. برای بازسازی کامل تصویر از ضرایب موجک و برای دستیابی به خاصیت استقلال از انتقال تبدیل موجک، الگوریتم *a trous* به عنوان مناسب‌ترین الگوریتم در عمل تبدیل انتخاب شد.

به منظور برآورد بهترین مقدار سیگنال عاری از نوفه یک برآورد کننده بر اساس قانون بیز طراحی شد که توابع توزیع ضرایب موجک سیگنال و نوفه را به عنوان اطلاعات اولیه به کار می‌برد. این برآورد کننده مانند یک آشکار ساز، عوارض خطی و لبه‌ها را در تصویر بارز می‌سازد. با وجود مزایایی که الگوریتم ارائه شده دارد، از نظر محاسباتی گران است. بویژه برآورد پارامترهای توابع توزیع سیگنال و نوفه به عنوان وقت گیرترین مرحله محاسباتی در این الگوریتم به شمار می‌آید. استفاده از الگوریتمهای مؤثرتر در برآورد پارامترهای مجهول منجر به کاهش هزینه محاسباتی الگوریتم مربوطه می‌شود. بهبودهای دیگر در نتایج، هنگامی حاصل می‌شود که یک روش براساس دانش و اطلاعاتی مانند بافت تصاویر رادار، نوع هدف موجود در تصویر و... استفاده شود. به منظور ترکیب این اطلاعات با هم و استفاده از آنها در الگوریتم کاهش نوفه، شبکه‌های عصبی می‌تواند به عنوان ابزاری سودمند و مؤثر در نظر گرفته شود.

پارامترهای توابع توزیع که عبارتند از: α_s ، γ_s و σ_e باید محاسبه شوند. در محاسبه این پارامترها، از توابع ویژگی به جای توابع توزیع استفاده می‌شود. از آنجا که ضرایب موجک داده‌های نوفه‌ای d برابر با مجموع ضرایب موجک سیگنال و نوفه است، خواهیم داشت:

$$P_d(d) = P_s(s) * P_e(e) \quad (7)$$

که در این رابطه، \times نشان دهنده عمل همایخت است. در نتیجه، توابع ویژگی متناظر با پارامتر داده حاوی نوفه، بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\phi_d(\omega) = \phi_s(\omega) \cdot \phi_e(\omega) \quad (8)$$

برای محاسبه پارامترهای مجهول α_s ، γ_s ، تابع $\phi_d(\omega)$ به تبدیل فوری هیستوگرام ضرایب موجک به کمک فن کمترین مربعات برازش داده می‌شود. همچنین پارامتر مجهول واریانس، σ_e از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{\sigma}_e = 1.3 * MAD(d_j) \quad (9)$$

در این رابطه عامل *MAD* نشان دهنده انحراف مطلق از میانگین d_j و ضرایب موجک تصویر مربوط به بالاترین سطح تجزیه موجک است. پس از برآورد پارامترهای مجهول مربوط به توابع توزیع، مقدار سیگنال عاری از نوفه در هر سطح تجزیه موجک به کمک رابطه (۶) محاسبه می‌شود. در مرحله آخر با اعمال تبدیل موجک معکوس و تابع نمایی بر روی نتایج، تصویر عاری از نوفه باز سازی می‌شود. در بخش بعد، نتایج عملی حاصل از الگوریتم پیشنهادی ارائه و با الگوریتمهای موجود مقایسه می‌شود.

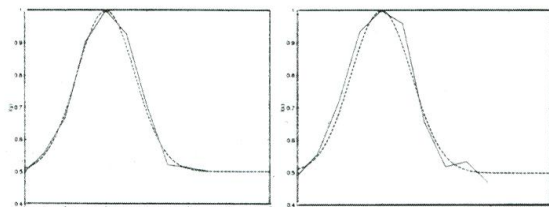
۴- نتایج عملی

برای مقایسه فنون مختلف کاهش نوفه، نوفه اسپیکل با واریانس ۰,۰۰۵ به یک عکس هوایی با اندازه ۶۴×۶۴ اضافه می‌شود. ابتدا ضرایب موجک لگاریتم تصویر به کمک الگوریتم *a trous* و فیلتر پایین گذر گوسی اخذ می‌گردد. تعداد سطوح موجک به کار رفته در این الگوریتم، ۲ است. پس از اخذ ضرایب موجک از لگاریتم تصویر، این ضرایب به کمک توابع توزیع *SAS* و گوسی مدل سازی می‌شوند. شکل ۲ تابع برازش داده شده به ضرایب موجک دومین سطح تجزیه را نشان می‌دهد. در ارزیابی نتایج، دو معیار نسبت سیگنال به نوفه و ضریب همبستگی به کار رفته است. نسبت سیگنال به نوفه از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$S/N \approx S/mse = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^k s_i^2 / \sum_{i=1}^k (\hat{s}_i - s_i)^2 \right) \quad (10)$$

در این رابطه، S و \hat{S} به ترتیب تصویر اولیه پیش از افزودن نوفه به آن و تصویر نوفه‌ای است. کمیت ضریب همبستگی نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^k (\Delta s_i - \Delta \bar{s})(\Delta \hat{s}_i - \Delta \bar{\hat{s}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^k (\Delta s_i - \Delta \bar{s})^2 \sum_{i=1}^k (\Delta \hat{s}_i - \Delta \bar{\hat{s}})^2}} \quad (11)$$



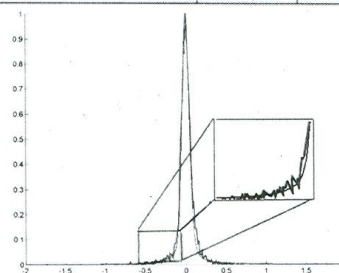
شکل ۱- میانگین سطوح مقطع چندین نوفه اسپیکل (خطوط پیوسته) و منحنی گوسی برازش داده شده به آنها (خط چین)

واژه نامه

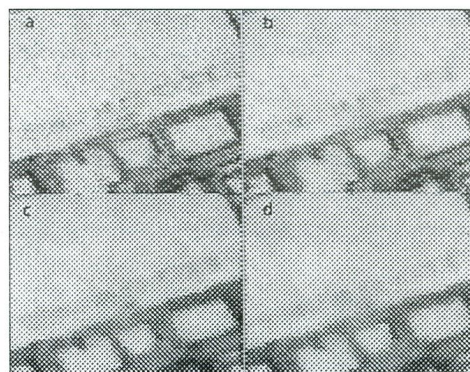
Speckle noise	نویز اسپیکل
Wavelet transform	تبدیل موجک
Bayesian estimator	برآوردکننده بیز
Alpha-stable	آلفا استیبل
Coherent imaging systems	سیستمهای تصویربرداری کوهرنت (منسجم)
Multi-look methods	روشهای چندمنظره
Adaptive filters	فیلترهای تطبیقی
Artifacts	عوارض مصنوعی
Wavelet coefficients	ضرایب موجک
Wavelet shrinkage	کاهش ضرایب موجک
Threshold	حد آستانه
Least square	کمترین مربعات
Speckle noise pattern	الگوی نویز اسپیکل
Image decomposition	تجزیه تصویر
Image reconstruction	بازسازی تصویر
Multiplicative	ضرب شونده
Shift-invariant	استقلال از انتقال
Loss function	تابع زیان
Cost function	تابع هزینه
Characteristic function	تابع ویژگی
Fourier transform	تبدیل فوریه
Decomposition level	سطح تجزیه
Correlation coefficient	ضریب همبستگی
Neural networks	شبکه های عصبی
Interferometry	تداخل سنجی

جدول ۱- نتایج حاصل از الگوریتمهای مختلف کاهش نوفه اسپیکل در تصویر

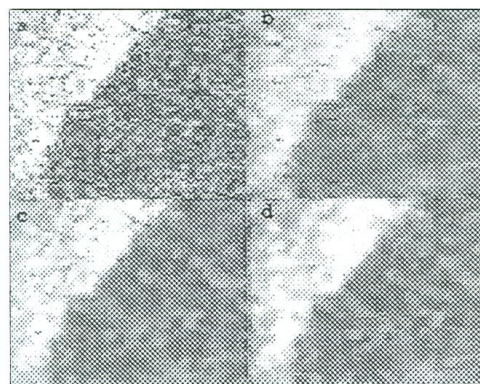
Speckle Noise Reduction Method	Signal to Noise Ratio	Edge Preservation
Bayesian a trous algorithm	25.7963	0.8437
Bayesian Mallat's algorithm	25.4523	0.8433
Wiener Filter	24.6520	0.8336
Median Filter	23.3422	0.6881
Lee Filter	22.8389	0.7641
Gamma Filter	22.4049	0.7919
Frost Filter	23.3889	0.8212
Mean Filter	20.4276	0.6086



شکل ۲- مدل سازی ضرایب موجک مربوط به دومین سطح تجزیه به کمک توابع توزیع SAS و گوسی



شکل ۳- (a) تصویر حاوی نوفه. (b-d) به ترتیب نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی، فیلتر میانه و wiener



شکل ۴- (a) تصویر حاوی نوفه. (b-d) به ترتیب نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی، فیلتر میانه و wiener

References

- Abrishami Moghaddam, H. , Valadan Zouj, M.J. , Dehghani, M. ,2004- “Improved denoising of the images corrupted by speckle noise” Accepted in the 2nd IASTED International Conference on Biomedical Engineering BioMED04, Austria.
- Achim, A. , Bezerianos, A. , Tsakalides, P. ,2001- “Novel Bayesian Multiscale for speckle Removal in Medical Ultrasound Images”, *IEEE Trans. Med. Imaging*, Vol. 20, No. 8, pp. 772-783.
- Dehghani, M.,2003- “Speckle Noise Reduction Using Wavelet Transform”, M.Sc. thesis.
- Fletcher, N. ., 2002 - “Multi-scale texture segmentation”, Post doctorate research thesis, University of Bath, U.K.
- Fodor, I. K. , Kamath, C. ,2003- “Denoising Through Wavelet Shrinkage: An Empirical Study”, *Journal of Electronic Imaging*, vol. 12, pp.151-160.
- Gonzalez, R. C. , Woods, R. E. ,2002- “Digital Image Processing”, Addison-Wesley Inc.
- Gose, E. , Johnsonbaugh, R., Jost, S.,1996- *Pattern Recognition and Image Analysis*, Prentice Hall, Inc., USA.
- Leon-Garcia, A. ,1994- *Probability and Random Processes for Electrical Engineering*, Addison-Wesley Inc.
- Li, C.,1987- “Two Adaptive Filters for Speckle Reduction in SAR Imagery by Using the Variance Ratio”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol.9, No.4, pp. 641-653.
- Lopes, A., Touzi, R. , Nesry, E.,1990- “Adaptive speckle filter and scene heterogeneity”, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 28, pp. 992-1000.
- Nunez, J. , Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Pala, V. & Arbiol, R.,1999- “Multiresolution-based Image Fusion with Additive Wavelet Decomposition”, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 37, No. 3, pp. 1204-1211.
- Rioul, O. & Duhamel, P. ,1992- “Fast Algorithm for Discrete and Continuous Wavelet Transform”, *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol. 38, No. 40, pp. 569-586.
- Schwan, H., Wunderle, S., Desnos, Y.-L.,1995- “Evaluation of speckle filtered ERS-1 SAR images in Patagonia and Antarctica”, European Space Agency Report, Earth Observation Quarterly (EOQ), No. 49.
- Shi, Z., Fung, K. B. ,1994 - “A Comparison of Digital Speckle Filters”, Proceedings of IGRASS'94, Pasadena.
- Thitimajshima, P., Rangsanseri, Y. & Rakprathanporn, P.,1998- “A Simple SAR Speckle Reduction by Wavelet Thresholding”, Proceedings of the 19th Asian Conference on remote Sensing ACRS98, pp. P-14-1—P-14-5.
- Ulbay, F. T. , Moore, R. K. , Fung, A. K. ,1981- “Microwave Remote Sensing”, Artech House Inc.

* بخش مهندسی ژئودزی و ژئوماتیکس، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

** گروه الکترونیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

*** گروه دورسنجی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

* Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of technology, Tehran, Iran.

** Electronic department, K.N. Toosi University of technology, Tehran, Iran

*** Remote Sensing Group, Geological Survey of Iran