

حذف نویز از تصاویر مادون قرمز با استفاده از تبدیل موجک و فیلترهای حوزه مکان

علی محمودی گرده رشت^۱، ابوالفضل چمن مطلق^۲، علی ناصری^۳، مهدی نصیری^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد برق الکترونیک، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، a.m.g@chmail.ir

^۲ استادیار دانشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

^۳ دانشیار دانشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

^۴ مربی دانشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۲

چکیده

اخذ داده تصویری، یک مرحله معمول و متعارف در فرآیند پردازش تصویر می‌باشد. معمولاً هنگام اخذ و ارسال تصویر، نویز از منابع خاصی وارد تصویر شده و موجب تخریب آن می‌شود. روش متداول کاهش و یا حذف نویز تصویر، استفاده از فیلترگذاری است که در این میان فیلترهای غیرخطی نسبت به فیلترهای خطی عملکرد بهتری دارند. در این مقاله روشی مؤثر و مقاوم در برابر نویز برای بازیابی تصاویر مادون قرمز ارائه می‌شود. در روش پیشنهادی ابتدا یک فیلتر میانه ترکیبی بهبود یافته معرفی شده، سپس با بکارگیری آن در کنار فیلتر وینر و روش حذف نویز مبتنی بر تبدیل موجک، عملیات حذف نویز صورت می‌گیرد. در روش ارائه شده، ایده ترکیب فیلترهای حوزه مکان و حوزه موجک، جهت پوشش محدودیت‌های این دو حوزه به کار گرفته شده است. آزمایشات بر روی چند داده واقعی تصاویر مادون قرمز انجام شده است و نتایج نشان می‌دهد که روش‌های ارائه شده نسبت به بسیاری از روش‌های مطرح حذف نویز، چه از لحاظ پارامتر پیشینه‌ی نسبت سیگنال به نویز و چه از لحاظ کیفیت تصویر کارایی بالاتری دارند.

کلیدواژه

تبدیل موجک، حذف نویز تصویر، فیلتر میانه ترکیبی، فیلتر وینر.

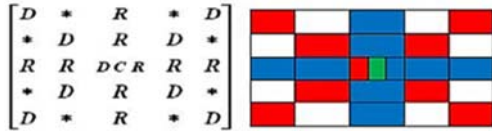
مقدمه

به‌شمار می‌رود. روش‌های سنتی مانند فیلتر خطی، فیلتر میانگین‌گیر و فیلتر میانه به بهای مات کردن لبه‌ها و بافت تصویر، نویز را در تصویر حذف می‌کنند. در سال‌های اخیر تکنیک‌های حذف نویز بسیاری پیشنهاد شده است [۱]-[۸]. روش بسیار مشهوری که اخیراً مورد استفاده قرار می‌گیرد تکنولوژی حذف نویز آستانه‌گذاری موجک می‌باشد. تبدیل موجک با مشخصات زمان فرکانس و تحلیل‌های چند رزولوشنی می‌تواند نتایج حذف نویز بهتری نسبت به روش‌های سنتی ارائه دهد. اما آستانه یک فاکتور کلیدی است، یک آستانه بزرگ به ویژگی‌های تصویر با دید نویز نگاه می‌کند که نتیجه آن تصویر مات شده است و اگر عکس این موضوع اتفاق بیفتد یعنی آستانه کوچک باشد در اینصورت به نویز با دید ویژگی‌های تصویر نگر بسته می‌شود و نتیجه این حالت نیز خروجی تصویر نویزی خواهد بود [۹]. در سال‌های اخیر بسیاری از مقاله‌ها در زمینه حذف نویز تصاویر مبتنی بر تبدیل موجک با ایده بهبود

حذف نویز از تصاویر مادون قرمز یکی از کارهای ضروری در پردازش تصویر است که به‌طور گسترده در کاربردهای نظامی، پزشکی، صنعتی و تحقیقات علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد و روز به روز نقش آن در پردازش سیگنال‌ها و تصاویر پرنترنگتر می‌شود. به‌سبب محدودیت در فرآیند ساخت آشکارساز مادون قرمز، تصویر مادون قرمز معایبی دارد از جمله: وضوح کمتر، مات‌شدگی لبه‌ها و آسیب‌پذیری تحت تأثیر محیط اطراف و ... به‌منظور جلوگیری از نویزی شدن تصویر، استفاده کامل از اطلاعات گرفته شده و بهبود کیفیت تصاویر مادون قرمز، حذف نویز تبدیل به یک موضوع مهم در پردازش تصاویر مادون قرمز شده است. نویز معمولاً در باندهای فرکانس بالای تصویر قرار دارد، لبه‌ها و جزئیات مهم تصویر نیز در همین باندها واقع هستند. بنابراین حذف نویز همراه با حفظ لبه‌ها و اطلاعات مهم تصویر مشکل اصلی در فرآیند حذف نویز تصویر

میان‌ه پیکسل‌های افقی و عمودی (R) و MD (مقدار میان‌ه پیکسل‌های قطری (D). خروجی فیلتر، میان‌ه دو مقدار میان‌ه بدست آمده و پیکسل مرکزی C است [۱۱]:

$$\text{median}([MR + MD + C]) \quad (1)$$



شکل ۱. فیلتر میان‌ه ترکیبی [۱۱].

فیلتر میان‌ه ترکیبی پیشنهادی

یک موضوع مهم در بازیابی تصاویر مادون قرمز مشکل حذف نویز گوسی است، بطوریکه اطلاعات مهم تصویر از دست نرود. بطور معمول نویز در تصاویر مادون قرمز را می‌توان بصورت نویز سفید گوسی جمع شونده مدل کرد. این نویز باعث کاهش دقت و اعتبار هر نوع تحلیلی در تصویر می‌شود. همچنین کیفیت تصاویر با وجود نویز بشدت کاهش پیدا کرده و رزولوشن و کنتراست نیز کاهش می‌یابند. لذا اغلب روش‌های حذف نویز برای افزایش نسبت سیگنال به نویز و بهبود کیفیت تصویر بکار برده می‌شوند. در اینجا یک فیلتر آماری که بهبود یافته فیلتر میان‌ه ترکیبی است برای کاهش نویز معرفی می‌شود.

این فیلتر پیشنهادی نسخه اصلاح شده فیلتر میان‌ه ترکیبی است که از پیکسل‌های در دو مثلث کناری و پیکسل‌هایی که بصورت صلیب مانند هستند و پیکسل مرکزی، میان‌ه می‌گیرد. در این بخش ما برای افزایش کارایی فیلتر تعداد مراحل را افزایش داده- ایم اما در هر مرحله تعداد پیکسل‌ها را کاهش داده‌ایم تا در کل، تعداد پیکسل‌هایی که در چهار مرحله در فیلترینگ شرکت دارند با تعداد کل پیکسل‌های درگیر فیلترینگ روش قبلی تفاوت چندانی نکنند. تأکید بر عدم افزایش کلی تعداد پیکسل‌های درگیر در مراحل مختلف فیلتر به خاطر عدم افزایش چشمگیر زمان محاسباتی می‌باشد لذا ما در اینجا به جای افزایش تعداد پیکسل‌های درگیر در هر مرحله، تعداد مراحل را افزایش داده‌ایم و تعداد پیکسل‌ها در این مراحل را کاهش دادیم. همانطور که در شکل (۲) پیکسل‌های مثلث سمت راست و چپ بترتیب با R و L، پیکسل‌های صلیب مانند با C و پیکسل مرکزی با C1 نشان داده شده‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که روش پیشنهادی هم از لحاظ پارامتر بیشینه نسبت سیگنال به نویز و هم از لحاظ کیفیت تصویر کارآمدتر از نسخه‌های قبلی خود می‌باشد.

$$\text{median}(L, R, C, C1) \quad (2)$$

تابع آستانه‌گذاری یا تابع انقباض ارائه شده‌اند اما در این مقاله روند دیگری برای بهبود کیفیت تصاویر باز سازی شده در پیش گرفته شده است. در این مقاله از ترکیب فیلترهای حوزه مکان و تبدیل موجک استفاده شده تا بتوان با این روش ترکیبی محدودیت‌های این دو حوزه را مرتفع نمود.

در بخش‌های بعدی به ترتیب فیلتر میان‌ه، فیلتر میان‌ه ترکیبی، فیلتر میان‌ه ترکیبی بهبود یافته، فیلتر وینر محلی تطبیقی، تبدیل موجک معمولی و تبدیل موجک مختلط دو درختی تشریح می‌شود. گردند و بخش آخر به الگوریتم پیشنهادی و جمع‌بندی اختصاص یافته است.

فیلتر میان‌ه

فیلتر میان‌ه (فیلتر غیرخطی) روی پیکسل‌های میانی از پیکسل‌های همسایگی بجای فیلتر میانگین‌گیر (فیلتر خطی) کار می‌کند. برای حفظ نرمی تصویر حاصله، فیلتر میان‌ه گزینه مناسبی است. یک فیلتر میان‌ه با روش کاهش نویز مبتنی بر پیکسل کار می‌کند که دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. برای حفظ صافی و لبه‌ها، فیلترهای میان‌ه بهترین گزینه در بین سایر فیلترهای غیرخطی هستند [۱۰]. فیلتر میان‌ه شدت روشنایی پیکسل‌هایی را که در یک پنجره همسایگی دارای شدت روشنایی بیشینه یا شدت روشنایی کمینه هستند تعدیل می‌کند لذا برای حذف نویز نمک و لفل بسیار مناسب می‌باشد. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که ترکیب این فیلتر با روش‌های مبتنی بر تبدیل موجک علاوه بر حذف نویز نمک و لفل می‌تواند برای حذف سایر انواع نویز از جمله نویز گوسی نیز مفید باشد.

فیلتر میان‌ه ترکیبی

فیلتر میان‌ه ترکیبی یک فیلتر پنجره‌ای غیرخطی است که براحتی نویز را حذف می‌کند در حالیکه لبه‌ها را حفظ می‌کند. در مقایسه با نسخه اولیه فیلتر میان‌ه، فیلتر ترکیبی از جهت حفظ ویژگی‌های لبه‌ها بهتر عمل می‌کند. ایده اصلی این نوع فیلترینگ، اعمال تکنیک میان‌ه‌گیری با پنجره‌های مختلف روی تمام پیکسل‌های تصویر و میان‌ه گرفتن از نتایج حاصل از آنهاست همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، فیلتر میان‌ه ترکیبی دو مقدار میان‌ه را بصورت "X" و "4" محاسبه می‌کند. خروجی فیلتر، مقدار میانگین این دو مقدار و پیکسل اصلی است. بدلیل اینکه فیلتر میان‌ه ترکیبی یک عملیات رتبه‌بندی سه مرحله‌ای است، لبه‌ها را بهتر از یک فیلتر میان‌ه با کرنل (پنجره همسایگی) مربع حفظ می‌کند. دو مقدار میان‌ه محاسبه می‌شود: MR (مقدار

تبدیل موجک

فرض کنید $f = \{f_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, M\}$ نشان دهنده ماتریس $M \times M$ تصویر اصلی باشد که M عدد صحیح توان ۲ می باشد. در طول ارسال تصویر، سیگنال f با نویز سفید گوسی $n(i, j)$ با میانگین صفر و واریانس σ یعنی $n_{i,j} \sim N(0, \sigma^2)$ تخریب می شود. تصویر نویزی شده در گیرنده بصورت $g_{i,j} = f_{i,j} + \sigma n_{i,j}$ بدست می آید. هدف تخمین سیگنال f از سیگنال نویزی $g_{i,j}$ می باشد به طوریکه میانگین مربعات خطا (MSE) کمینه شود. فرض کنید W و W^{-1} بترتیب نشان-دهنده تبدیل موجک گسسته دوبعدی (DWT) و معکوس آن باشند. در اینصورت $Y = Wg$ نشان دهنده ماتریس ضرایب موجک g می باشد که چهارتا زیرباند (LL و HL و LH و HH) دارد. زیرباندهای HH_k, HL_k, LH_k زیرباندهای جزئیات نامیده می شوند که $k=1, 2, \dots, J$ تعداد کل تجزیه هاست. اندازه زیرباند در مقیاس k برابر $N/2^k \times N/2^k$ می باشد. زیرباند LL_r زیرباند تقریب نامیده می شود.

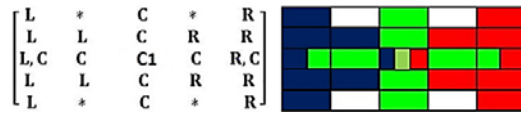
روش حذف نویز مبتنی بر آستانه گذاری موجک هر ضریب Y را از زیرباندهای جزئیات با تابع آستانه نرم برای بدست آوردن \hat{x} پردازش می کند. تصویر حذف نویز شده از تبدیل معکوس تخمین زده می شود $\hat{x} = W^{-1} \hat{Y}$.

در شبیه سازی ها، معمولاً آستانه گذاری نرم بخاطر اینکه تصاویری با کیفیت مطلوب می دهد بجای آستانه گذاری سخت استفاده می شود [۱۵-۱۶].

تبدیل موجک مختلط دو درختی

با وجود اینکه DWT به بسیاری از خواسته ها در کاربردهای پردازش تصویر نائل شده دارای چند نقص اساسی است که باعث جلوگیری و محدودیت کاربرد آن در بسیاری از موارد پردازش تصویر می شود [۱۷]. این نقص های عمده عبارتند از: عدم خاصیت نامتغیر بودن نسبت به جابجائی مکانی، محدودیت در تعداد جهت های قابل پردازش، ضعف در عملکرد فیلترینگ جهت دار در جهت قطری.

تبدیل موجک مختلط (با اضافه نمودن افزودگی محدودی) در این دو نقص فائق آمده است. اما مشکل جدیدی در این حالت به وجود آمده است چرا که بازسازی کامل توسط فیلترهای مختلط بعد از مرحله اول دشوار خواهد بود. بعد از مرحله اول ورودی های هر فیلتر، مختلط خواهند بود و این مساله طراحی فیلتر برای بازسازی کامل را دشوار می کند. برای فائق آمدن بر این مشکل روش جدیدی بنام تبدیل موجک مختلط دو درختی معرفی شده است. این روش امکان بازسازی کامل را در کنار سایر مزایای



شکل ۲. فیلتر میانه ترکیبی بهبود یافته

فیلتر وینر محلی تطبیقی

در سال ۱۹۹۴ نوربرت وینر فیلتر بهینه ای معرفی کرد که فیلتر وینر نامیده شد [۱۲]. این فیلتر توانست نتایج رضایت بخشی برای حذف نویز در اختیار قرار دهد. بسبب سادگی و مؤثر بودن، در این مقاله فیلتر وینر تطبیقی برای حذف نویز اصلاح شده و روش حذف نویز تطبیقی محلی مبتنی بر موجک بکار برده شده است. یک تصویر تخریب شده با نویز سفید گوسی جمع شونده را در نظر بگیرید. تصویر نویزی می تواند بصورت زیر مدل شود [۱۳]:

$$y(i, j) = x(i, j) + n(i, j) \quad (3)$$

که $y(i, j)$ تصویر نویزی، $x(i, j)$ تصویر اصلی و $n(i, j)$ نویز سفید گوسی جمع شونده است. هدف از حذف نویز، از بین بردن نویز از تصویر است بطوریکه حداقل میانگین مربعات خطا بدست آید. در اینجا فیلتر وینر میانگین مربعات خطا بین تصویر تخمین زده شده $\hat{x}(i, j)$ و تصویر اصلی $x(i, j)$ را کمینه می کند. اندازه گیری خطا بصورت زیر بیان می شود [۱۳]:

$$e^2 = E[(x(i, j) - \hat{x}(i, j))^2] \quad (4)$$

فیلتر وینر تصویر را با استفاده از پنجره های همسایگی با اندازه $M \times N$ برای تخمین میانگین و انحراف معیار تصویر محلی فیلتر می کند. در اینجا فرض می شود که نویز ایستاست و دارای میانگین صفر و واریانس σ_n^2 بوده و با تصویر اصلی $x(i, j)$ ناهمبسته می باشد. با توجه به این فرضیات فیلتر وینر میانگین و واریانس محلی را حول هر پیکسل با استفاده از معادلات (۵) و (۶) که در زیر آمده تخمین می زند [۱۳]:

$$\mu = \frac{1}{MN} \sum_{i,j \in k} y(i, j) \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{MN} \sum_{i,j \in k} y^2(i, j) - \mu^2 \quad (6)$$

که μ میانگین محلی و σ^2 واریانس محلی است. سپس فیلتر وینر با استفاده از این تخمین ها یک فیلترینگ محلی ارائه می دهد و تصویر تخمین زده شده با استفاد از معادله (۶) بصورت زیر بدست خواهد آمد [۱۳].

$$\hat{x}(i, j) = \mu + \frac{\sigma^2 - \sigma_n^2}{\sigma^2} (y(i, j) - \mu) \quad (7)$$

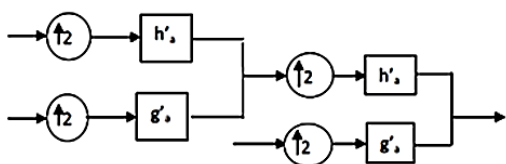
که σ_n^2 واریانس نویز است، اگر واریانس نویز داده نشده باشد فیلتر وینر از میانگین همه واریانس های محلی تخمین زده شده استفاده خواهد کرد [۱۳]. شکل ساده وینر در مرجع [۱۴] آورده شده است.

⁵ Discrete Wavelet Transform

⁶ Dual Tree Complex Wavelet Transform

³ Norbert Wiener

⁴ Mean Squared Error



شکل ۵. فیلتربانک ترکیب درخت a' [۱۷].

شکل (۳) دیاگرام شماتیک ساختار فیلتربانک تجزیه و سنتز یک DTCWT را نشان می‌دهد که از چهارتا عملگر DWT موازی ساخته شده است. بنابراین ۴ بار گسترده‌تر از DWT است. h_a و g_a جفت فیلتر بالا گذر و پایین گذر برای درخت a بخش تجزیه و H_a و G_a جفت فیلتر بالاگذر و پایین گذر درخت a' بخش سنتز را نشان می‌دهند. بطور مشابه برای سایر درخت‌ها نیز همینطور است. شکل (۴) و (۵) بترتیب فیلتر بانک تجزیه و سنتز را نشان می‌دهند. شاخه‌های DWT بالاتر بخش حقیقی تبدیل موجک مختلط و شاخه‌های DWT پایین تر بخش موهومی تبدیل موجک مختلط را می‌دهند. فیلترهای شاخه‌های a و b تبدیل موجک گسسته دوبعدی برای شرایط جفت هیلبرت طراحی شده‌اند که تصویر را به شش تا زیربانک بالاگذر تجزیه می‌کنند ($LH_a, HL_a, LH_b, HL_b, HH_b$ در هر سطح). یک بازتولید کامل تبدیل موجک معکوس از شش تا موجک جهت‌دار بالا با عملگرهای جمع یا تفریق بدست می‌آید.

یک موجک دوبعدی $\phi(x, y) = \phi(x)\phi(y)$ مرتبط با پیاده‌سازی ردیف ستون تبدیل موجک را در نظر بگیرید که $\phi(x)$ یک موجک مختلط داده شده با $\phi(x) = \phi_h(x) + j\phi_g(x)$ می‌باشد [۱۷].

$$\phi_i(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_{1,i}(x, y) + \phi_{2,i}(x, y)) \quad (8)$$

$$\phi_{i+3}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_{1,i}(x, y) - \phi_{2,i}(x, y)) \quad (9)$$

برای ۳ و ۱ و ۲ و ۱ شش تا موجک حقیقی جهت‌دار از (۸) و (۹) بدست می‌آید:

$$\phi_i(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_{3,i}(x, y) + \phi_{4,i}(x, y)) \quad (10)$$

$$\phi_{i+3}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_{3,i}(x, y) - \phi_{4,i}(x, y)) \quad (11)$$

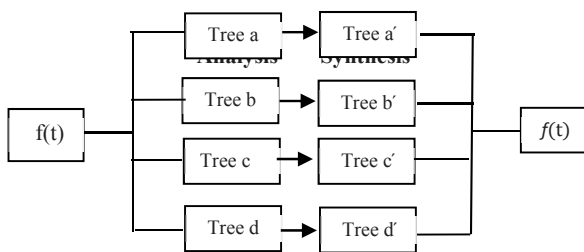
یک مجموعه از شش تا موجک بخش موهومی تبدیل مختلط می‌تواند از روابط (۱۰) و (۱۱) برای ۳ و ۱ و ۲ بدست آید [۱۷].

همانطوریکه در شکل (۶) مشاهده می‌شود DTCWT مختلط، دوازده تا موجک در شش جهت مختلف را می‌دهد. شش تا موجک بالایی بخش حقیقی تبدیل مختلط و شش تا موجک پایینی تر بخش موهومی تبدیل مختلط هستند.

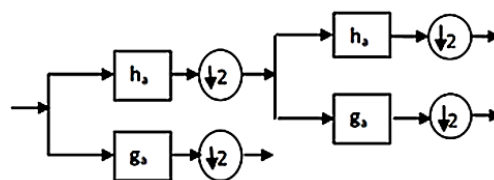
تبدیل مختلط داراست. در واقع می‌توان گفت تبدیل موجک مختلط دو درختی دارای مزایای زیر است:

۱. نابسته بودن نسبت به جایجائی مکانی^۷
۲. توانایی در مشخص کردن مناسب جهت‌ها در حالت دو بعدی و چند بعدی با استفاده از فیلترهای شبه گابور^۸
۳. توانایی در بازسازی کامل سیگنال ورودی^۹
۴. افزونگی کم (برای حالت m بعدی، $2^m: 1$)
۵. محاسبات کم از مرتبه N (برای حالت دو بعدی فقط دو برابر حالت عادی DWT بوده و برای حالت m بعدی 2^m می‌باشد) [۱۸].

تبدیل موجک مختلط دو درختی بازتولید کم نقصی از طریق تبدیل موجک معمولی فراهم می‌کند. این تبدیل تا ۲ DWT حقیقی اعمال می‌کند؛ DWT اول قسمت حقیقی و DWT دوم قسمت موهومی تبدیل را می‌دهد. DTCWT تقریباً تغییرناپذیر با شیف و انتخاب کننده جهتی در دو بعد و ابعاد بیش تر با افزونگی محدود می‌باشد. از جهت حذف نویز و بهبود کیفیت تصویر بهتر از DWT می‌باشد. یکی از مزایای DTCWT این است که می‌تواند برای پیاده‌سازی تبدیلات موجک دوبعدی که بسیار گزینشی نسبت به جهت‌گیری در مقایسه با DWT هستند مورد استفاده قرار گیرد. DTCWT دوبعدی دوازده تا زیربانک در هر مقیاس فراهم می‌کند که هر کدام در زاویه‌های مشخصی شدت جهت‌دار هستند [۱۷].



شکل ۳. دیاگرام شماتیک فیلتربانک تجزیه و ترکیب DTCWT [۱۷]



شکل ۴. فیلتربانک تجزیه درخت a [۱۷].

¹¹ Limited Redundancy

¹² Efficient Order-N Computation

¹³ Dual Tree Complex Wavelet Transform

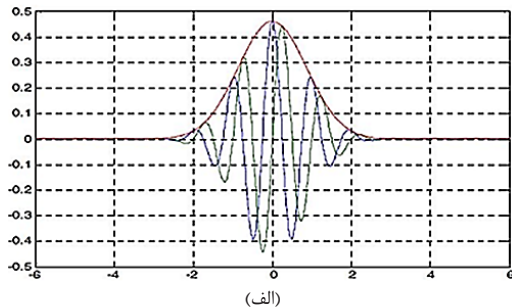
⁷ Shift Invariance

⁸ Directional Selectivity

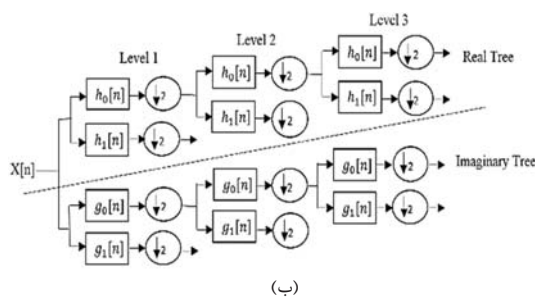
⁹ Gabor

¹⁰ Perfect Reconstruction (PR)

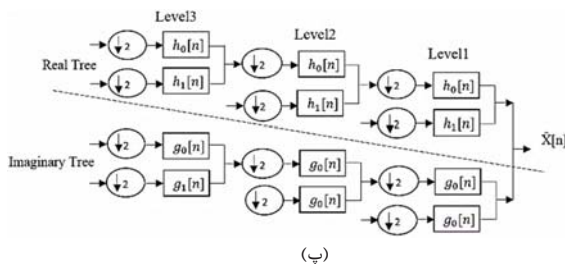
همانطوریکه در شکل (۷) مشاهده می‌شود در نظر گرفته شوند [۲۰].



(الف)



(ب)



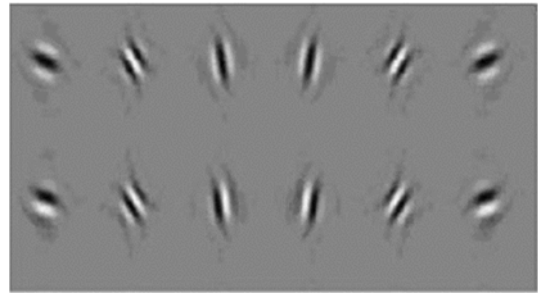
(پ)

شکل ۷. الف) موجک مختلط یک بعدی، ب) فیلتربانک تجزیه با استفاده از تبدیل موجک برای DTDWT یک بعدی، پ) فیلتربانک ترکیب برای DTDWT یک بعدی [۱۹].

روش VisuShrink

در این روش، هدف اصلی حذف حداکثر نویز با در نظر گرفتن ملاک نرمی (همواری) است. از آنجا که ملاک نرمی سبب بهبود کیفیت دیداری تصویر می‌شود، به این روش VisuShrink گفته می‌شود. میزان آستانه در این روش هم بر اساس واریانس نویز و هم بر پایه طول فریم محاسبه می‌شود [۲۱ و ۲۳].

$$\lambda = \hat{\sigma} \sqrt{2 \log n} \quad (12)$$



شکل ۶. جهت‌گیری DTCWT [۱۷]

تبدیلات موجک مختلط از فیلترهایی با مقادیر مختلط (فیلتر تجزیه) استفاده می‌کنند که سیگنال‌های مختلط را به بخش‌های حقیقی و موهومی در حوزه‌ی تبدیل تجزیه می‌کنند. ضرایب حقیقی و موهومی برای محاسبه اطلاعات اندازه و فاز استفاده می‌شوند، برای توصیف محل انرژی توابع نوسان (پایه‌های موجک) تنها نوع اطلاعات لازم است. یک روش دیگر برای پیاده‌سازی تبدیل موجک مختلط^{۱۴} (CWT) این است که ابتدا تبدیل هیلبرت به داده اعمال شده، سپس تبدیل موجک حقیقی به داده اصلی و داده حاصل از تبدیل هیلبرت اعمال می‌شود و ضرایب حاصل از تبدیل موجک برای بدست آوردن CWT ترکیب می‌شوند [۱۷].

تبدیل موجک مختلط دو درختی^{۱۵} (DTCWT) پیشرفت نسبتاً جدید DWT با ویژگی‌های اضافی است. این تبدیل تقریباً تغییرناپذیر با شیفت و از لحاظ جهت قابل انتخاب در دو بعد یا بیشتر می‌باشد. این موضوع به کمک یک فاکتور افزودنی^{۱۶} 2^d برای سیگنال‌های قطری بدست می‌آید که اساساً کوچکتر از DWT ایستا می‌باشد. بسط DTCWT به دو بعد توسط فیلترینگ تفکیک‌پذیر ستون‌ها و سپس سطرها بدست می‌آید. اما اگر فیلترهای ستون و ردیف فرکانس‌های منفی را متوقف کنند در این صورت فقط ربع اول طیف سیگنال دوبعدی باقی خواهد ماند. از تئوری تبدیل فوری دوبعدی مشهود است که دو ربع مجاور از طیف برای نمایش کامل یک سیگنال دوبعدی حقیقی لازم است [۱۷].

DWT مختلط دو درختی یک سیگنال $x(n)$ با استفاده از دو DWT بصورت موازی روی داده‌های یکسان همانطوریکه در شکل (۷) نشان داده شده محاسبه می‌شود. اگر در درخت بالایی و پایینی از فیلترهای یکسان استفاده شود هیچ سودی نخواهد داشت. بنابراین فیلترها در این ساختار طوری طراحی خواهند شد که زیرباندهای DWT بالایی بعنوان بخش حقیقی تبدیل موجک دو درختی و درخت پایینی بعنوان بخش موهومی

16 Dual Tree Complex Wavelet Transform

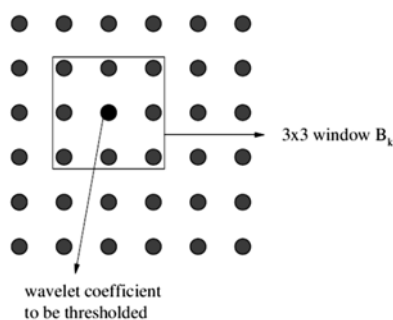
14 Analytic Filter

15 Complex Wavelet Transform

روش NeighShrink

یکی دیگر از روش‌های حذف نویز تصویر به کمک تبدیل موجک روش NeighShrink است که توسط Chen مطرح شده است [۲۷-۲۵]. ایده‌ی اصلی این روش آن است که ضرایب موجک بزرگ به احتمال زیاد دارای همسایه‌هایی با ضرایب بزرگ هستند. این به آن علت آن است که تبدیل موجک در همسایگی‌های کوچک ضرایب همبسته ایجاد می‌کند [۲۵]. با استفاده از این خاصیت، Chen پیشنهاد کرده است که سطح آستانه را با توجه به مقادیر ضرایب واقع در همسایگی هر ضریب اعمال کنیم. با توجه به اینکه در روش‌های آستانه‌گذاری قبلی مثل روش VisuShrink تعداد زیادی از ضرایب کوچک تصویر اصلی حذف می‌شدند، استفاده از همسایگی برای اعمال آستانه می‌تواند نتیجه‌ی بهتری بدهد.

روش فوق به این صورت پیاده می‌شود که برای هر ضریب موجک γ_k یک همسایگی B_k در نظر گرفته می‌شود. مثلاً اگر همسایگی به صورت یک پنجره‌ی 3×3 موردنظر باشد، B_k به صورت شکل (۸) خواهد بود.



شکل ۸ تعیین همسایگی برای هر ضریب موجک در روش NeighShrink [۲۵].

بعد از تعیین همسایگی B_k ، برای هر ضریب موجک، S_k به صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۵]:

$$S_k^2 = \sum_{l \in B_k} \gamma_l^2 \quad (15)$$

که در آن $\hat{\sigma}$ واریانس تخمینی نویز و n طول فریم (یا تعداد پیکسل‌های تصویر) می‌باشد. برای تخمین واریانس نویز، Donoho رابطه تجربی (۱۴) را که به تخمین‌گر مقاوم میانه^{۱۷} معروف است، پیشنهاد داده است و نشان داده که این تخمین با دقت بالایی انحراف معیار نویز را حاصل می‌کند [۲۱ و ۲۳].

$$\hat{\sigma} = \frac{\text{Median}(|W_l^D|)}{0.6745} \quad (13)$$

که در آن W_l^D ضرایب جزئی^{۱۸} اولین مقیاس تبدیل موجک است (که برای تصویر از زیر باند HH₁ استفاده می‌شود). اگر چه این رابطه تجربی است، اما می‌توان نشان داد در شرایطی که فقط نویز وجود داشته باشد، رابطه فوق دقیقاً انحراف معیار نویز را خواهد داد [۲۳].

علت وابستگی سطح آستانه به طول فریم، به قضیه زیر که در آمار و احتمال مهندسی وجود دارد برمی‌گردد که اگر Z_1 نویز سفید گوسی $N(0,1)$ باشد، داریم [۲۳]:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \text{prob}\{\|z_1\| \leq \sqrt{2 \log n}\} = 1 \quad (14)$$

رابطه (۱۴) نشان می‌دهد که هر چه تعداد نمونه‌های سیگنال بیشتر باشد، احتمال اینکه مقدار بیشینه‌ی نویز از یک مقدار معین بیشتر باشد افزایش خواهد یافت. در نتیجه برای حذف کامل نویز، باید سطح آستانه را افزایش داد.

Donoho نشان داده است که با وجود اینکه در روش VisuShrink بیشتر نرمی سیگنال بهبود یافته مدنظر قرار گرفته است، این روش هم از نظر نرمی و هم از نظر تطبیق^{۱۹} از بسیاری از روش‌های دیگر حذف نویز بهتر عمل می‌کند. همچنین در [۲۴] نشان داده شده است که این روش علاوه بر جنبه‌های دیداری از لحاظ متوسط مربعات خطا نیز، برای مواردی که اطلاع‌چندانی از میزان همواری تصویر در دست نیست، بهینه است. به همین خاطر، این روش به روش جهانی^{۲۰} نیز معروف است.

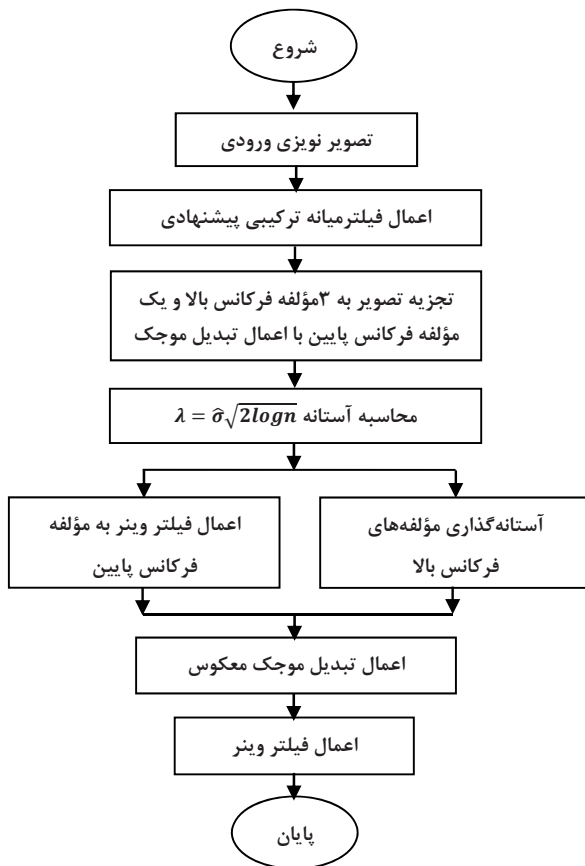
¹⁹ Adaption

²⁰ Universal Shrink

¹⁷ Robust Median Estimator

¹⁸ Detail Coefficient

تبدیل موجک استفاده شده است همچنین در حوزه تبدیل موجک برای آستانه‌گذاری مؤلفه‌های فرکانس بالا از روش آستانه‌گذاری VisuShrink استفاده شده است. استفاده از فیلتر میانه ترکیبی پیشنهادی، ترکیب روش‌های مبتنی بر دو حوزه مکان و تبدیل موجک و استفاده از فیلترهایی با بهترین عملکرد در بهترین مکان (اینکه قبل از تجزیه تصویر به مؤلفه‌های فرکانس بالا و پایین اعمال شود یا بعد از آن، این فیلتر چند بار اعمال شود، به مؤلفه‌های فرکانس بالا اعمال شود یا به مؤلفه‌های فرکانس پایین) باعث شده که ما به دو هدف اصلی از حذف نویز یعنی حفظ لبه‌های تصویر و بهبود کیفیت تصویر از طریق افزایش نسبت سیگنال به نویز بدست آید.



شکل ۹. الگوریتم پیشنهادی حذف نویز.

همانطوریکه از الگوریتم شکل (۹) مشاهده می‌شود، ابتدا تصویر نویزی بعنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود سپس فیلتر میانه ترکیبی پیشنهادی که توضیح آن در بخش‌های قبلی ارائه شد به تصویر نویزی اعمال می‌شود. این مرحله بعنوان پیش‌پردازش محسوب می‌شود.

در مرحله بعدی با استفاده از تبدیل موجک گسسته تصویر به مؤلفه‌های فرکانس بالا و پایین تقسیم شده و تابع آستانه‌گذاری

سپس، برای آستانه‌گذاری با سطح آستانه‌ی λ از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود [۲۵]:

$$\hat{\lambda}_k = Y_k \cdot \max\left(0, 1 - \frac{\lambda^2}{s_k^2}\right) \quad (16)$$

در واقع با اعمال رابطه‌ی (۱۶) ضرایبی را که مجموع مربعات همسایگی‌های آنها از سطح آستانه کمتر باشد، صفر می‌شود. این روش به علت استفاده از همسایگی اطراف هر ضریب برای آستانه‌گذاری، به روش نی‌شرینک معروف است. نکته‌ای که برای استفاده از این روش باید در نظر گرفت اندازه‌ی پنجره‌ی همسایگی است. اندازه‌ی این پنجره تأثیر زیادی روی قدرت حذف نویز این روش دارد. اگر پنجره خیلی بزرگ باشد، مقدار زیادی از نویز در تصویر باقی می‌ماند. بنابراین اندازه‌ی حد وسطی مثلاً اندازه‌ی 3×3 یا 5×5 می‌تواند مناسب باشد.

همانطور که گفته شد، روش NeighShrink به علت استفاده از همسایگی برای اعمال سطح آستانه برخلاف روش‌های قبلی آستانه‌گذاری، مانند VisuShrink، کمتر به حذف ضرایب کوچکی که متعلق به تصویر اصلی هستند می‌پردازد و در نتیجه تصویر هموارتری را به دست می‌دهد. البته همانطور که چن در مقاله‌ی خود عنوان کرده است، این روش به محاسبات بیشتری احتیاج دارد [۲۵]. به طوری که اگر طول فیلتر موجک L ، اندازه‌ی تصویر $M \times M$ و اندازه‌ی پنجره‌ی همسایگی $N \times N$ باشد، روش NeighShrink به $(4L + N^2)M^2$ عملیات و روش ویزیو شرینگ به $(4L + N^2)M^2$ عملیات احتیاج دارد. یعنی در قبال به دست آوردن حذف نویز بهتر، حجم محاسبات افزایش می‌یابد.

الگوریتم پیشنهادی

در این مقاله در دو حوزه ایده جدید ارائه شده است. ایده اول مربوط به ارائه فیلتر میانه ترکیبی جدید در حوزه مکان می‌باشد که توضیح آن در بخش‌های قبلی ارائه شد و در ایده دوم، از ترکیب فیلترهای حوزه مکان و روش‌های حذف نویز حوزه تبدیل موجک معمولی و مختلط جهت غلبه بر محدودیت‌های این دو حوزه برای حذف نویز تصاویر استفاده شده است.

در این قسمت الگوریتم جدیدی برای پوشش ضعف‌های دو حوزه مکان و تبدیل موجک ارائه شده است. در این الگوریتم از فیلتر میانه ترکیبی پیشنهادی در حوزه مکان و فیلتر وینر در حوزه

به مؤلفه‌های فرکانس بالا و فیلتر وینر به مؤلفه‌های فرکانس پایین اعمال می‌شود، با اعمال تبدیل موجک معکوس، تصویری بدست خواهد آمد که بعنوان پیش‌پردازش برای مرحله نهایی محسوب خواهد شد. در نهایت فیلتر وینر روی تصویر پیش‌پردازش شده اعمال و تصویر حذف نویز شده بدست خواهد آمد.

آزمایشات

به منظور ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی مقاله، از دو نوع تصویر مادون قرمز واقعی ۸ بیتی با اندازه 512×512 استفاده شده است. این تصاویر مادون قرمز با نویز سفید گوسی جمع‌شونده با واریانس‌های مختلف تخریب شده‌اند سپس روش‌های مختلف حذف نویز روی آنها آزمایش می‌شود. پارامترهای شبیه‌سازی روش پیشنهادی در جدول (۱) نشان داده شده است. برای ارزیابی روش پیشنهادی از پارامتر پیک نسبت سیگنال به نویز (PSNR)^{۲۱} استفاده شده است که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{256^2}{MSE} \right) \quad (17)$$

MSE میانگین مربعات خطا نیز بصورت زیر معرفی می‌شود:

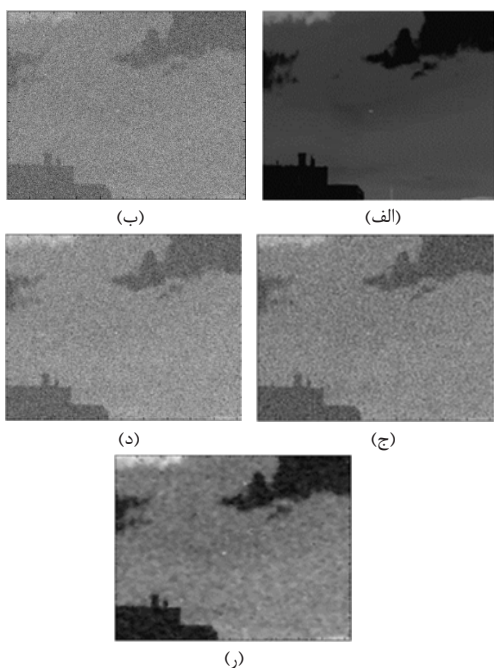
$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_{m,n=1}^N (\hat{x}(m,n) - x(m,n))^2 \quad (18)$$

که N^2 اندازه تصویر و $\hat{x}(m,n)$ و $x(m,n)$ بترتیب پیکسل‌های تصویر پردازش شده و تصویر اصلی می‌باشند.

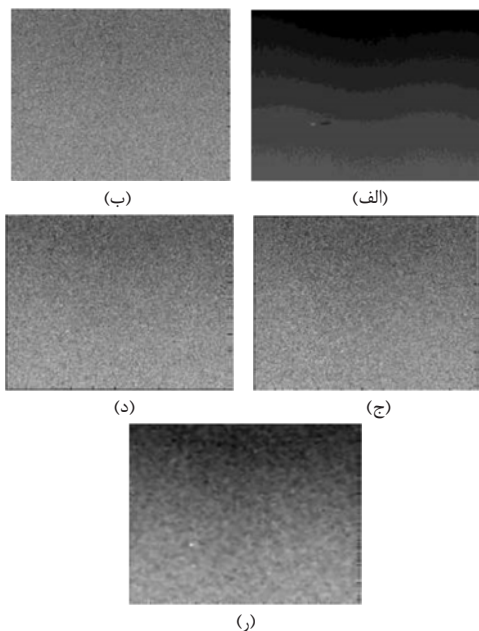
جدول ۱. پارامترهای شبیه‌سازی.

پارامتر	مشخصات
نوع نویز	گوسی
نوع موجک	هار
سطح تجزیه	۱
فیلتر	وینر
فیلتر وینر اول	5×5
فیلتر وینر دوم	3×3
میانگین نویز (μ)	۰
چگالی نویز (σ)	۱۰ تا ۳۰

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها روی دو تصویر مادون قرمز در شکل (۱۰ و ۱۱) نشان داده شده است. در این اشکال روش‌های VisuShrink و NeighShrink با روش پیشنهادی مقایسه شده‌اند. همانطور که از این شکل‌ها قابل مشاهده است روش پیشنهادی علاوه بر پارامتر PSNR از لحاظ کیفیت ظاهری (پر نور شدن هدف هوایی در مرکز تصویر) نیز بمراتب بهتر از روش‌های قبلی می‌باشد.



شکل ۱۰. الف) تصویر اصلی، ب) تصویر نویزی با نویز سفید گوسی با $\sigma=50$ ، ج) تصویر حذف نویز شده به روش VisuShrink، د) روش NeighShrink و ر) تصویر حذف نویز شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی.



شکل ۱۱. الف) تصویر اصلی، ب) تصویر نویزی با نویز سفید گوسی با $\sigma=50$ ، ج) تصویر حذف نویز شده به روش VisuShrink، د) روش NeighShrink و ر) تصویر حذف نویز شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی.

²¹ Peak Signal-to-Noise Ratio

جدول ۲. مقایسه روش‌های VisuShrink، NeighShrink، فیلتر وینر، فیلتر میانه ترکیبی، فیلتر میانه ترکیبی بهبودیافته و روش پیشنهادی از لحاظ PSNR.

روش‌های مختلف	تصویر مادون قرمز اول			تصویر مادون قرمز دوم		
	$\sigma=10$	$\sigma=20$	$\sigma=30$	$\sigma=10$	$\sigma=20$	$\sigma=30$
VisuShrink	۳۳٫۹۱	۲۸٫۰۴	۲۴٫۶۱	۳۴٫۰۶	۲۸٫۰۴	۲۴٫۶۱
NeighShrink	۳۴٫۰۳	۲۸٫۱۲	۲۴٫۶۱	۳۴٫۱	۲۸٫۱۲	۲۴٫۶۴
فیلتر وینر	۳۵٫۸۰	۲۹٫۵۲	۲۵٫۹۷	۳۵٫۷۰	۲۹٫۵۱	۲۵٫۹۷
فیلتر میانه ترکیبی	۳۵٫۹۰	۳۰٫۲۲	۲۶٫۷۵	۳۸٫۰۴	۳۰٫۲۴	۲۶٫۷۹
فیلتر میانه ترکیبی پیشنهادی	۳۸٫۲۰	۳۲٫۳۹	۲۸٫۹۶	۳۸٫۳۳	۳۲٫۴۹	۲۹٫۰۱
الگوریتم پیشنهادی در حوزه DTCWT	۴۰٫۷۵	۳۸٫۲۰	۳۵٫۸۶	۴۲٫۶۵	۳۹٫۵۲	۳۶٫۷۳
الگوریتم پیشنهادی در حوزه DWT	۴۲٫۴۳	۳۹٫۲۲	۳۶٫۵۳	۴۴٫۷۳	۴۰٫۵۲	۳۷٫۲۸

همانطور که از این منحنی برمی آید هر چه چگالی نویز افزایش پیدا می کند، اختلاف روش پیشنهادی با روش‌های قبلی بخوبی مشاهده می شود، بطوریکه در سطوح نویز بالا اختلاف آنقدر زیاد می شود که دیگر استفاده از روش‌های قبلی اصلاً قابل توجهی نخواهد بود.

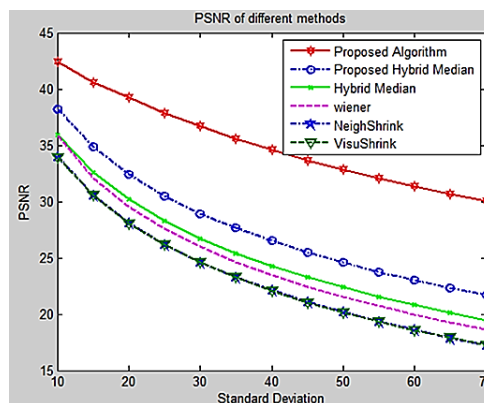
زمان محاسبه هفت روش در نرم افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۳ که توسط لپ تاپ DELL، با پردازشگر مرکزی ۲.00GHz، Core i7 برای تصویر مادون قرمز 512×512 شکل (۹)، با سطح نویز $\sigma=10$ بدست آمده است در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. زمان محاسبه روش‌های مختلف برحسب ثانیه.

روش‌ها	زمان محاسبه (s)
VisuShrink	۲٫۱
NeighShrink	۲٫۱
فیلتر وینر	۱
فیلتر میانه ترکیبی	۱۳٫۴
فیلتر میانه ترکیبی پیشنهادی	۱۶٫۲
الگوریتم پیشنهادی در حوزه DTCWT	۲۱٫۴
الگوریتم پیشنهادی در حوزه DWT	۱۸٫۱

همانطور که از این جدول برمی آید الگوریتم پیشنهادی نسبت به فیلتر میانه ترکیبی حدوداً ۴٫۷ ثانیه زمان محاسبه بیشتری دارد که علت آن استفاده از فیلترهای مکانی مختلف در کنار فیلترهای حوزه تبدیل می باشد. در سطوح نویز بالا که تشخیص هدف از پس زمینه بسیار مشکل می شود روش کارآمدی که بتواند هدف

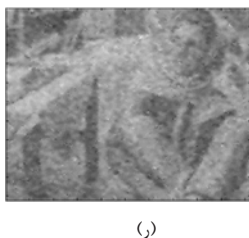
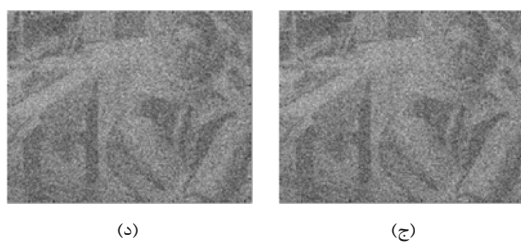
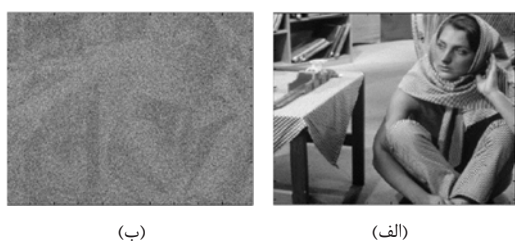
در جدول (۲)، PSNR روش‌های VisuShrink، NeighShrink، فیلتر وینر، فیلتر میانه ترکیبی، فیلتر میانه ترکیبی پیشنهادی، الگوریتم پیشنهادی در حوزه DTCWT و الگوریتم پیشنهادی در حوزه DWT در سه انحراف معیار ۱۰، ۲۰ و ۳۰ برای دو نوع تصویر مادون قرمز مقایسه شده اند. همانطور که مشاهده می کنیم روش پیشنهادی غالباً دارای PSNR بهتر مخصوصاً برای مواقعی که تصویر دارای سطح نویز (σ) بالاتری بوده است، می باشد. بهبود PSNR در سطوح نویز بالا توسط روش پیشنهادی آنقدر زیاد است که در کارهای با دقت بسیار بالا حتی به بهای افزایش زمان محاسبه روش پیشنهادی ارجحیت دارد. در ضمن شکل (۱۲) منحنی PSNR برحسب انحراف معیار برای انواع روش‌های مختلف حذف نویز را نشان می دهد که مؤید کارایی بهتر روش پیشنهادی است.



شکل ۱۲. منحنی PSNR برحسب انحراف معیار نویز برای انواع روش‌های مختلف حذف نویز.

و پایین بودن زمان محاسبه در مواقعی که از تصویر خروجی نتوان استفاده کرد هیچ فایده‌ای ندارد.

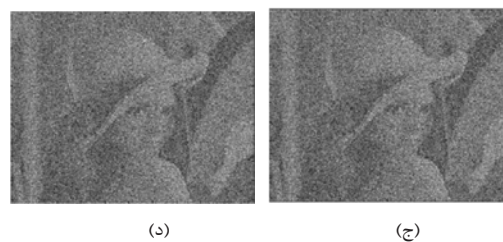
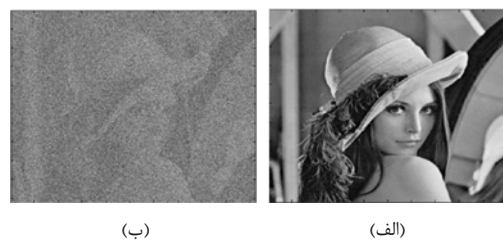
برای اینکه نشان داده شود که روش پیشنهادی مقاله برای انواع تصاویر مختلف جوابگو می‌باشد شبیه‌سازی‌ها روی تصویر Lena و Barbara نیز انجام پذیرفته است. در شکل (۱۳ و ۱۴) نتایج شبیه‌سازی به روش‌های VisuShrink، NeighShrink و روش پیشنهادی بترتیب برای تصویر Lena و Barbara نشان داده شده است.



شکل ۱۳. الف) تصویر اصلی، ب) تصویر نویزی با نویز سفید گوسی با $\sigma=50$ ، ج) تصویر حذف نویز شده به روش VisuShrink، د) روش NeighShrink و ر) تصویر حذف نویز شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی.

جدول (۴) سه روش VisuShrink، NeighShrink و الگوریتم پیشنهادی را در چهار انحراف معیار ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ برای تصویر Lena از نظر معیار PSNR مقایسه می‌کند همانطور که از این جدول برمی‌آید PSNR روش پیشنهادی نسبت به دو روش دیگر بهتر است و هر چه انحراف معیار افزایش می‌یابد این اختلاف بیش‌تر می‌شود لذا نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی برای تصاویر مختلف بهتر از روش‌های قبلی می‌باشد.

را از پس‌زمینه تشخیص داده و نویزها را تضعیف نماید همچنان جای کار دارد. در تصاویر مادون‌قرمز واقعی در سطوح نویز بالا دقت بسیار مهم‌تر از سرعت عمل می‌باشد و همانطور که از نتایج جداول و اشکال بالا مشهود است روش‌هایی مانند VisuShrink، NeighShrink، فیلتر وینر و فیلتر میانه ترکیبی جوابگوی حذف نویز برای این حالات نمی‌باشد و همانطور که از شکل‌های (۱۰ و ۱۱) مشهود است حذف نویز با این روش‌ها مطلوب نبوده و هدف اصلاً قابل تشخیص نیست. لذا نیاز به یک روش مؤثر مخصوصاً در سطوح نویز بالا مشهود بنظر می‌رسد.



شکل ۱۴. الف) تصویر اصلی، ب) تصویر نویزی با نویز سفید گوسی با $\sigma=50$ ، ج) تصویر حذف نویز شده به روش VisuShrink، د) روش NeighShrink و ر) تصویر حذف نویز شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی.

الگوریتم پیشنهادی این مقاله با وجود اینکه زمان محاسبه را افزایش می‌دهد اما در مواقعی که دقت ملاک اصلی می‌باشد از تمام رقبای خود بهتر عمل می‌کند. روش‌های قبل با وجود پایین بودن زمان محاسبه هیچگونه توانایی در حذف نویز سطوح بالا ندارند و استفاده از این روش‌ها در سطوح نویز بالا هیچگونه توجیهی ندارد و همانطور که از شکل‌های (۱۰ و ۱۱) و جدول (۱) نیز قابل مشاهده است تصاویر خروجی این روش‌ها قابل استفاده برای هیچ هدفی نیست (هرچند که زمان محاسبه هم پایین باشد)

بالا روش‌هایی که تنها مبتنی بر تبدیل موجک باشند یا روش‌های سنتی جوابگو نخواهند بود و همانطور که از شکل‌های (۱۰ و ۱۱) و جدول (۱) برمی‌آید تصویر خروجی روش‌هایی که تنها مبتنی بر تبدیل موجک هستند در سطوح نویز بالا برای هیچگونه هدف خاصی قابل استفاده نمی‌باشند و لذا روش‌های ترکیبی همانند روش پیشنهادی در این مقاله برای این موارد پیشنهاد می‌شود.

مراجع

- [1] Z. Dengwen and C. Wengang, "Image denoising with an optimal threshold and neighbouring window," Pattern Recognition Letters, vol.29, no. 11, pp. 1694-1697, 2008.
- [2] R. Eslami and H. Radha, "Translation-invariant contourlet transform and its application to image denoising," IEEE Trans. Image Process., vol. 15, no. 11, pp. 3362-3374, Nov. 2006.
- [3] S.Roy, N. Sinha & A. K. Sen, "A New Hybrid Image Denoising Method," International Journal of Information Technology and Knowledge Management, vol. 2, no. 2, pp. 491-497, 2010.
- [4] V. Katkovnik, A. Foi, K. Egiazarian, and J. Astola, "From local kernel to nonlocal multiple-model image denoising," International Journal of Computer Vision, vol. 86, no. 1, pp. 1-32, 2010.
- [5] K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, and K. Egiazarian, "Image denoising by sparse 3-D transform-domain collaborative filtering," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 16, no. 8, pp. 2080-2095, 2007.
- [6] J. Portilla, V. Strela, M. J. Wainwright, and E. P. Simoncelli, "Image denoising using scale mixtures of Gaussians in the wavelet domain," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 12, no. 11, pp. 1338-351, 2003.
- [7] A. Buades, B. Coll, and J. M. Morel, "Image denoising methods. A new nonlocal principle," SIAM Review, vol. 52, no. 1, pp. 113-147, 2010.
- [8] D. Coupier, A. Desolneux, and B. Ycart, "Image denoising by statistical area thresholding," Journal of Mathematical Imaging and Vision, vol. 22, no. 2-3, pp. 183-197, 2005.
- [9] H. Xiaoxia, F. Randi, "Infrared Image Denoising using Anti-aliasing Contourlet Transform Based on Cycle Spinning", Advances in information Sciences and Service Sciences(AISS) Vol. 4, Number18, pp.472-479, Oct 2012.

جدول ۴. مقایسه روش‌های VisuShrink، NeighShrink و روش پیشنهادی از لحاظ PSNR برای تصویر Lena.

تصویر Lena				روش‌های مختلف حذف نویز
$\sigma=70$	$\sigma=60$	$\sigma=50$	$\sigma=40$	
۱۶,۶۴	۱۷,۷۶	۱۹,۰۹	۲۰,۶۷	VisuShrink
۱۷,۱۱	۱۸,۳۹	۱۹,۸۹	۲۱,۶۶	NeighShrink
۲۲,۰۸	۲۲,۳۷	۲۲,۶۵	۲۲,۹۳	الگوریتم پیشنهادی در حوزه DWT

در جدول (۵) روش‌های VisuShrink، NeighShrink و الگوریتم پیشنهادی در دو تصویر مادون قرمز و Lena در سطوح نویز ۴۰، ۵۰ و ۶۰ از نظر معیار MSE با هم مقایسه شده‌اند. بهترین نتیجه بصورت پرتنگ در این جدول نشان داده شده است. همانطور که از این جدول مشهود است کمترین MSE در هر دو تصویر مربوط به روش پیشنهادی می‌باشد.

جدول ۵. مقایسه روش‌های VisuShrink، NeighShrink و روش پیشنهادی از لحاظ MSE برای تصویر Lena و تصویر مادون قرمز.

تصویر مادون قرمز			تصویر Lena			روش حذف نویز
$\sigma=60$	$\sigma=50$	$\sigma=40$	$\sigma=60$	$\sigma=50$	$\sigma=40$	
۸۹۵,۹	۶۱۹,۹۶	۴۰۵,۵۴	۹۴۳,۲۷	۶۶۹,۶۹	۴۴۳,۷۹	VisuShrink
۸۹۶,۵	۶۲۲,۸۹	۳۹۹,۰۳	۹۴۰,۸۵	۶۶۷,۲۵	۴۴۳,۳۹	NeighShrink
۶۰,۸۹	۴۳,۰۵	۲۸,۲۵	۱۸۰,۱۷	۱۵۶,۵۶	۱۳۵,۱۷۶	الگوریتم پیشنهادی

نتیجه‌گیری

در این مقاله انواع روش‌های حذف نویز (روش میان‌گیری، فیلتر میان‌ترکیبی، روش VisuShrink و روش NeighShrink) بعلاوه روش پیشنهادی معرفی و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که فیلتر میان‌ترکیبی پیشنهادی که اصلاح شده فیلتر میان‌ترکیبی مرسوم می‌باشد از لحاظ پارامتر PSNR، بطور میانگین ۲,۲۴dB از نسخه اصلاح شده خودش بهتر عمل می‌کند. نتایج بر روی تعدادی از تصاویر مادون قرمز واقعی نشانگر این است که روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های متعارف و مهم، نویز را با کارایی بالاتری تضعیف می‌کند. همچنین از منحنی شکل ۵ واضح است که هر چه سطح نویز افزایش می‌یابد اختلاف الگوریتم پیشنهادی و روش‌های قبلی بیشتر می‌شود بطوریکه در انحراف معیار $\sigma=70$ حدوداً ۰,۸۵٪ بهبود نسبت به روش VisuShrink مشاهده می‌شود و هرچه انحراف معیار نویز افزایش می‌یابد میزان بهبود روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر بیشتر می‌شود. لذا در انحراف معیارهای

- [19] L.Mitiche , A.B.Houda, H.Naimi, "Medical image denoising using Dual Tree Complex Thresholding Wavelet Transform", IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT), 2013.
- [20] V. Naga Prudhvi Raj, T Venkateswarlu, "Denoising of medical images using dual tree complex wavelet transform", 2nd International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology Vol. 4, pp. 238-244, (2012).
- [21] D. L. Donoho and I. M. Johnstone, "Ideal Spatial Adaptation via Wavelet Shrinkage," *Biometrika*, vol. 81, pp. 425–455, no. 3, 1994.
- [22] D. L. Donoho, "De-noising by soft thresholding," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 41, no. 5, pp. 613–627, May 1995
- [23] D. L. Donoho, I. M. Johnstone, G. Kerkyacharian, and D. Picard, "Wavelet Shrinkage: Asymptopia? With Discussion," *J. Royal Statistical Soc., Series B*, vol. 57, no. 2, pp. 301–369, 1995.
- [24] D. L. Donoho, "Neo-classical minimax theorems, thresholding, and adaptation," *Bernoulli*, 1995.
- [25] G. Y. Chen, T. D. Bui, A. Krzyzak, "Image denoising using neighbouring wavelet coefficients", in *Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'04)*, vol. 2, pp. 917–920, 2004.
- [26] G. Y. Chen and T. D. Bui, "Multiwavelets denoising using neighboring coefficients", *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 10, no. 7, pp. 211–214, 2003.
- [27] G.Y. Chen, T. D. Bui, A. Krzyzak, "Image denoising with neighbor dependency and customized wavelet and threshold", *Pattern Recognition*, vol. 38, Issue 1, pp. 115–124, 2005.
- [10] A. Joshi, A. K. Boyat, B. K. Joshi, "Impact of Wavelet Transform and Median Filtering on Removal of Salt and Pepper Noise in Digital Images", *International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques(ICICT)*, Ghaziabad, 2014.
- [11] M.R. Rakesh, B. Ajeya, A.R. Mohan, "Hybrid Median Filter for Impulse Noise Removal of an Image in Image Restoration", *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering (An ISO 3297: 2007 Certified Organization)* Vol. 2, Issue 10, pp. 5117-5124, Oct 2013.
- [12] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [13] J.M. Parmar, S.A. Patil, "Performance Evaluation and Comparison of Modified Denoising Method and the Local Adaptive Wavelet Image Denoising Method", *International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP)*, Gujarat, 2013.
- [14] Z.S. ping, "A Combined Image Denoising Method", *IEEE Trans IASP*, pp.978-1-4244-5555, 2010.
- [15] M. Vattereli and J. Kovacevic, *Wavelets and Subband Coding*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1995.
- [16] Savita Gupta and Lakhwinder kaur, *Wavelet Based Image Compression using Daubechies Filters*, In *proc. 8th National conference on communications, I.I.T. Bombay, NCC-2002*.
- [17] A. Varsha, P.Basu, "An Improved Dual Tree Complex Wavelet Transform based Image denoising using GCV thresholding", *First International Conference on Computational Systems and Communications (ICCSC)*, December 2014.
- [18] N. Kingsbury, "Image Processing with Complex Wavelets", *Phil. Trans. R.Soc. Royal Society*, Vol.357, Issue 1760, pp. 2543-2560, 1999.