

ارائه یک فرا معماری پالایه دوطرفه چند وضوحی حذف نویز، مبتنی بر الگوریتم های فرا ابتکاری

و ارزیابی فازی

جواد وحیدی^{۱*}، هادی صالحی^۲

۱- استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۲- دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری
(دریافت: ۹۵/۰۷/۰۵، پذیرش: ۹۶/۰۳/۰۶)

چکیده

تصاویر دریافتی با توجه عوامل محیطی دچار تداخل ناخواسته ای می شوند که به نویز شهرت دارند. در این مقاله، به منظور حذف این تداخل های ناخواسته دو سیستم حذف نویز باهم ترکیب می شوند و بر تصاویر شناورهایی که توسط پهپادها ارسال شده اند اعمال می گردند. ابتدا مدل های مختلف با ترکیب پالایه دوطرفه و تبدیل موجک، توسط الگوریتم ژنتیک تولید می شوند. مدل ها توسط اعمال پالایه دوطرفه در بخش های مختلف سطوح اول، دوم و سوم پالایه موجک پیاده سازی می شوند. با توجه به نیاز به ارزیابی تعداد زیاد معماری های مختلف و دقیق نبودن ارزیابی های شهودی، از یک تابع استنتاج فازی به منظور ارزیابی مدل های مختلف استفاده شده است. شبیه سازی و ارزیابی های ذکر شده در این مقاله بر سه تصویر ناو هواپیمابر، کشتی جنگی و زیر دریایی صورت می گیرد. در نهایت، نتایج این سیستم در تمامی سطوح مورد بررسی قرار می گیرد تا یک مدل با کمترین هزینه برای تمامی تصاویر ذکر شده یافت شود. به منظور درک بهتر کارایی این مدل، مقایسه ای بین مدل پیشنهادی و مدل های دیگر حذف نویز صورت می گیرد. نتایج نشان دهنده کارایی مناسب مدل پیشنهادی در مقایسه با دیگر مدل های حذف نویز است.

کلیدواژه ها: الگوریتم ژنتیک، حذف نویز، استنتاج فازی، پردازش تصویر، پالایه های موجک، دوطرفه.

۱- مقدمه

ممکن است به علت نقص / عدم دقت در تصویر گرفتن دستگاه مانند دوربین، انحراف عدسی، فاصله کانونی ضعیف، پراکندگی و دیگر شرایط نامطلوب رخ دهد [۱-۲].

پالایه های غیرخطی مانند پالایه میانه در حذف انواع نویزها مؤثر عمل می کنند. پالایه میانه قادر است نویزهای نقطه ای جدا از هم و یا نویزهای خطی جدا از هم را حذف کند، به طوری که در لبه های تصویر تغییری ایجاد نشود. یکی از معایب پالایه میانه هنگامی است که تصویر از یک حد آستانه بالای ۶۰٪ نویز بپذیرد که این پالایه قادر نیست پیکسل های بدون نویز را از پیکسل های نویز دار تشخیص دهد.

استفاده از پالایه ها به طور ترکیبی منجر به یک همکاری هم افزا بین الگوریتم ها شده و موجب افزایش کارایی سیستم می شود. پالایه موجک قادر به بررسی تصویر در فرکانس های بالا و فرکانس های پایین است. پالایه دوطرفه نیز عملکرد مناسبی در فرکانس های بالا دارد. بنابراین، ترکیب این پالایه ها می تواند تأثیر مناسبی برای حذف نویز در تصاویر داشته باشند. از این رو استفاده از ترکیب پالایه ها در حال گسترش است. از جمله می توان به ترکیب الگوریتم های حذف نویز موجک و پالایه دوطرفه تطبیقی

علم پردازش تصویر یکی از علوم پر کاربرد در مهندسی است که در سال های اخیر پیشرفت قابل توجهی داشته است. یکی از مسائلی که در این علم وجود دارد، حذف اختلال های ناخواسته نظیر انواع نویزها و عوامل متعدد دیگر در تصاویر است. حذف این اختلال ها اغلب به عنوان مرحله پیش پردازش مورد استفاده قرار می گیرند. نویز یک سیگنال تصادفی است که موجب تخریب بسیاری از بخش های اصلی اطلاعات تصویر می شود. وجود نویز در تصویر یکی از مشکلات اصلی در پردازش تصویر است.

تصویر به علت انواع مختلفی از نویز مانند نویز گوسی^۱، نویز پواسون^۲، نویز نقطه^۳، نویز فلل نمکی^۴ و بسیاری دیگر انواع اساسی نویز دارای اعوجاج می شود. این نویز ممکن است از منابع نویز موجود در مجاورت دستگاه تصویربرداری، حافظه معیوب و یا

* رایانامه نویسنده مسئول: jvahidi@iust.ac.ir

1- Gaussian noise
2- Poisson noise
3- Spot noise
4- salt and pepper noise

می‌شود. مدل‌های مناسب‌تر دارای قابلیت حذف نویز بهتر و هزینه حذف نویز کمتر می‌باشند. بنابراین، در نسل‌های بعدی الگوریتم ژنتیک باقی می‌مانند. به‌منظور بررسی دقیق پالایه موجک، تجزیه این پالایه در سه سطح صورت می‌گیرد و هر سطح به‌طور مجزا بررسی می‌شود تا مناسب‌ترین سطح تجزیه موجک برای اعمال پالایه دوطرفه مشخص شود. با توجه به اینکه بررسی در زمینه تأثیر پارامترها (از پارامترهای بهینه تا غیر بهینه) بر ترکیب بهینه پالایه‌ها انجام نشده بود، در این مقاله به بررسی مقادیر مختلف پارامترها در نویزهای مختلف پرداخته می‌شود. همچنین تأثیر تغییر پارامترها بر هزینه حذف نویز مدل بهینه مورد بررسی قرار می‌گیرد. بهینه‌سازی پارامترهای این پالایه‌ها با توجه به پیوسته بودن پارامترها توسط الگوریتم فرا ابتکاری ازدحام ذرات صورت می‌گیرد.

به علت تعداد زیاد مدل‌های مورد بررسی، نیاز به ارزیابی خودکار مدل‌ها است. لذا، یک تابع ارزیاب فازی به‌منظور ارزیابی مدل‌های مختلف پیشنهاد شده است.

همچنین، با توجه به اینکه مقایسه مدل‌های به‌طور شهودی دارای دقت پایین است، استفاده از ارزیابی فازی منجر به ارزیابی یکپارچه مدل‌ها می‌شود. تابع ارزیاب فازی، به‌منظور ارزیابی عملکرد کیفیتی از سه معیار کیفیتی استفاده می‌کند.

در انتها، مدل با کمترین هزینه حذف نویز در تمامی تصاویر به دست می‌آید. عبارت فرا معماری به معماری‌هایی اشاره دارد که هر یک می‌توانند بالقوه معماری مناسب مدل برای حذف نویز در فرکانس‌های مختلف باشند [۱۱] مدل به‌دست‌آمده باید مناسب‌ترین عملکرد را در شرایط زیر داشته باشد.

- مناسب‌ترین عملکرد در نویزهای مختلف.
 - پایین‌ترین هزینه تجمعی حذف نویز به ازای تمامی پارامترهای بهینه و غیر بهینه.
 - پایین‌ترین هزینه در تمامی سطوح موجک.
 - مناسب‌ترین مدل در تمامی تصاویر مورد آزمایش.
- در انتها، مدل پیشنهادی با تعدادی از مدل‌های مفید و کارای دیگر مقایسه می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱ و ۲ مشخص شده است، تصویرهای مورد استفاده و روش پیشنهادی نشان داده شده‌اند.

در ادامه مقاله در بخش‌های ۲ تا ۴ الگوریتم ژنتیک و پالایه‌های حذف نویز شرح داده می‌شود. سپس در بخش ۵، ۶ و ۷ روش پیشنهادی، شبیه‌سازی و نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

توسط کارسی کیان^۱ و همکارانش [۳] و براسو برامانین^۲ و همکارانش در ترکیب پالایه میانه و موجک [۴] اشاره کرد. همچنین جو زانگ برای حذف نویز از تصاویر فراصوت از الگوریتم ترکیبی پالایه‌های دوطرفه و تبدیل موجک استفاده کرده است [۵]. جو زانگ^۳ از پالایه دوطرفه به‌منظور حذف نویز در فرکانس پایین موجک و از آستانه دهی برای حذف نویز فرکانس بالا در تصویر موجک استفاده کرده است. در [۶] از ساختار مشابهی برای حذف نویز در تصاویر CT استفاده شده است. در مقالات ذکر شده، به کمک پالایه موجک، تصویر به مؤلفه‌های جزئیات و تقریبی تجزیه می‌شود. با توجه به تعداد سطوح استفاده شده از پالایه موجک تعداد مؤلفه جزئیات افزایش می‌یابد اما تعداد مؤلفه تقریبی همواره یک است. بنابراین، تشخیص اینکه در کدام بخش از این مؤلفه جزئیات از پالایه دوطرفه استفاده شود دشوار است. لذا، در این مقالات، مؤلفه جزئیات توسط آستانه دهی موجک و مؤلفه تقریبی آن توسط پالایه دوطرفه تطبیقی حذف نویز می‌شوند. نیدهی چاندراکار^۴ و همکاران در [۷] یک مدل جدید بر اساس ترکیب تبدیل موجک و پالایه دوطرفه برای حذف نویز ارائه داده‌اند. در این مقاله از نسبت اوج سیگنال به نرخ نویز (Peak signal-to-noise ratio^۵) و شاخص کیفیت تصویر (Image quality indicator) برای ارزیابی استفاده شده است. در مقاله ذکر شده، ابتدا پالایه دوطرفه تطبیقی به تصویر اعمال شده است. سپس توسط موجک تصویر به مؤلفه‌های تجزیه شده و آستانه دهی می‌شود. در ادامه تصویر بازسازی شده و بار دیگر از پالایه دوطرفه تطبیقی به‌منظور حذف نویز استفاده شده است. سوپیداروی^۶ و همکارانش [۸] به بررسی تأثیر پالایه دوطرفه تطبیقی به بخش‌های مختلف مؤلفه‌های جزئیات و تقریبی پرداخته‌اند. نتایج این مقاله نشان‌دهنده این است که اعمال پالایه دوطرفه به ترتیب، پیش از اعمال پالایه موجک و بعد از اعمال پالایه موجک، مناسب‌ترین نتیجه را دارد. اما، از آنجایی که ترکیب پالایه دوطرفه با موجک در چند سطح می‌تواند منجر به تولید حالات زیادی شود، این روش تنها به بررسی چند مدل و ترکیب پالایه دوطرفه با پالایه موجک در یک سطح نموده است.

در این مقاله تأثیر پالایه دوطرفه بر مؤلفه‌های پالایه موجک در سه سطح مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به‌منظور ترکیب دو پالایه از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک باینری که در ساختارهای گسسته عملکرد مناسبی دارد استفاده

خلاقیت و هوش باشد عملکرد مناسبی دارد. عملکرد الگوریتم ژنتیک به شکلی است که با ترکیب و جهش ژنتیکی والدین، نسل جدیدی تولید می‌شود. اصطلاح‌های مهم به کاررفته در این الگوریتم در زیر بیان شده است.

- کروموزوم^۱: رشته‌ای از بیت‌ها را کروموزوم می‌نامند.
- ژن^۲: هر یک از بیت‌های درون کروموزوم را ژن می‌نامند.
- عملکرد ترکیب^۳: ترکیب کروموزوم دو یا چند والد برای تولید فرزندان.
- جهش: جهش^۴ یک ژن در یک کروموزوم.

همچنین الگوریتم GA از تعدادی پارامتر برای تولید نسل جدید استفاده می‌کند. این پارامترها به ترتیب تابع ارزیاب برای ارزیابی فرضیات، آستانه توقف تولید نسل، تعداد فرضیات که جمعیت موردبررسی را تشکیل می‌دهند، نرخ ترکیب و نرخ جهش است.

۳. موجک و حذف نویز

یک روش پرکاربرد برای حذف نویز استفاده از موجک است. در تبدیل موجک یا به اختصار WT بدون اینکه اصل عدم قطعیت هایزنبرگ نقض شود، هم رزولوشن فرکانسی و هم رزولوشن زمانی در نمودار زمان - فرکانس تغییر می‌کند. تفاوت تبدیل موجک با تبدیل فوریه زمان کوتاه این است که پهنای پنجره برای هر یک از اجزای طیفی تغییر می‌کند. این روش در فرکانس‌های بالا، رزولوشن زمانی خوب و رزولوشن فرکانسی ضعیف و در فرکانس‌های پایین، رزولوشن فرکانسی خوب و رزولوشن زمانی ضعیف به دست می‌دهد. در تبدیل موجک گسسته، سیگنال از یک سری پالایه‌های بالا گذر برای آنالیز^۵ فرکانس‌های بالا و از یک سری پالایه‌های پایین گذر برای آنالیز فرکانس‌های پایین، عبور داده می‌شود. سیگنال به دو بخش تقسیم می‌شود بخش حاصل از عبور سیگنال از پالایه بالا گذر که شامل اطلاعات فرکانس بالا (از جمله نویز) است و جزئیات نام دارد، و بخش حاصل از عبور سیگنال از پالایه پایین گذر که شامل اطلاعات فرکانس پایین و دربرگیرنده مشخصات هویتی سیگنال است و کلیات نامیده می‌شود. در نهایت، گروهی از سیگنال‌ها را خواهیم داشت که همان سیگنال اولیه را نشان می‌دهند اما هر گروه سیگنال به باند فرکانسی متفاوتی مربوط است. در این حالت



الف

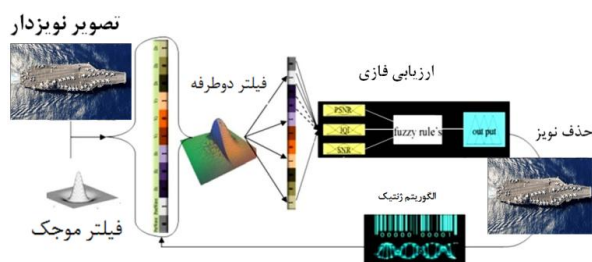


ب



ج

شکل (۱): سه تصویر موردبررسی.



شکل (۲): روش پیشنهادی.

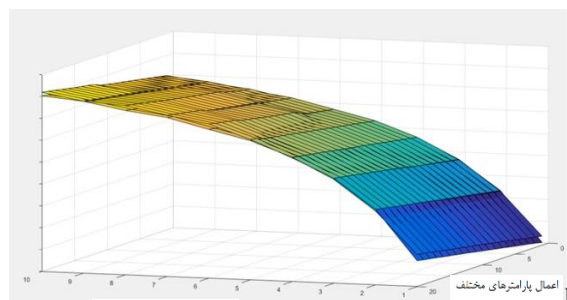
۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک در سال ۱۹۷۰ در ایالات متحده توسعه پیدا کرد و به طور معمول برای بهینه‌سازی گسسته مورد استفاده قرار می‌گیرد. از ویژگی‌های این الگوریتم می‌توان به کند و سلسله مراتبی بودن آن اشاره کرد که در سامانه‌هایی که نیاز به نوعی

1- Chromosome
2- Gene
3- Operator of crossover
4- Mutation
5- Resolution

۵-۱- بهینه‌سازی پالایه‌ها

ضرایب موجک و پارامترهای پالایه دوطرفه هر تصویر به‌طور جداگانه توسط الگوریتم فرا ابتکاری ازدحام ذرات بهینه می‌شوند. این بهینه‌سازی شامل پالایه موجک و پالایه دوطرفه از پارامترهای بهینه تا پارامترهای غیر بهینه و همچنین از نویز ۰،۰۱ تا ۰،۱ است. نمودار سه‌بعدی شکل ۳، بهینه‌سازی از سطح دوم موجک برای ناو هواپیمابر نشان داده شده است.



شکل (۳): بهینه‌سازی پالایه موجک و دوطرفه. نویزهای مختلف

همان‌طور که مشخص است این دو نمودار سه‌بعدی تقریباً بر روی هم قرار گرفته‌اند. به منظور بررسی دقیق‌تر، تصویر نویز ۰،۰۱ همین نمودار را به جدول ۱ انتقال می‌دهیم.

جدول (۱): جدول بهینه سطح ۲ موجک، در تصویر ناو هواپیمابر

| پارامترهای فیلتر دوطرفه | هزینه | مقدیر آستانه برای حذف ضرایب موجک | هزینه |
|-------------------------|-------|--|-------|
| ۱ -۰,۳۱۸ | ۲۶,۴۴ | -۰,۶۱۳ ۱,۱۰۳ -۰,۱۲۰ ۲,۵۲۶ ۱,۸۴۱ -۰,۱۳۳ | ۲۶,۸۰ |
| ۱ -۰,۲۶۲ | ۲۷,۰۰ | -۰,۷۲۰ ۱,۳۳۰ -۰,۱۲۵ ۲,۹۶۶ ۲,۳۹۷ -۰,۲۳۸ | ۲۷,۳۵ |
| ۱ -۰,۲۲۳ | ۲۸,۳۹ | ۱,۱۳۵ ۱,۵۶۹ -۰,۱۶۸ ۲,۳۹۰ ۱,۷۳۸ -۰,۰۷۰ | ۲۸,۵۱ |
| ۲ -۰,۲۰۶ | ۲۹,۰۰ | -۰,۶۵۱ -۰,۹۱۴ -۰,۱۳۳ ۲,۳۶۰ ۱,۶۲۰ -۰,۰۸۰ | ۲۹,۰۰ |
| ۲ -۰,۲۲۴ | ۳۰,۰۲ | -۰,۲۲۰ ۱,۳۱۱ -۰,۰۸۰ ۲,۳۱۳ ۱,۹۵۹ -۰,۱۰۰ | ۳۰,۰۱ |
| ۲ -۰,۱۶۹ | ۳۱,۰۰ | ۱,۰۱۰ ۱,۳۱۸ -۰,۱۶۸ ۲,۳۱۳ ۱,۷۷۷ -۰,۱۱۶ | ۳۱,۰۰ |
| ۲ -۰,۲۷۶ | ۳۲,۰۰ | -۰,۸۸۲ -۰,۹۲۲ -۰,۰۲۲ ۲,۳۲۲ ۲,۰۱۱۳ -۰,۲۷۲ | ۳۲,۵۶ |
| ۲ -۰,۳۰۹ | ۳۳,۰۰ | -۰,۶۴۴ ۱,۳۱۹ -۰,۰۵۱ ۲,۳۱۷ ۱,۶۶۱ -۰,۱۵۳ | ۳۳,۳۹ |
| ۲ -۰,۳۸۳ | ۳۴,۰۲ | -۰,۷۲۱ -۰,۷۶۰ -۰,۰۷۵ ۲,۳۸۳ ۱,۸۸۱ -۰,۱۴۱ | ۳۴,۰۵ |
| ۳ -۰,۳۲۵ | ۳۵,۰۰ | -۰,۷۷۰ ۲,۳۲۶ ۱,۱۵۹ ۲,۵۱۱ ۱,۷۵۰ -۰,۱۴۴ | ۳۵,۰۱ |

میزان هزینه‌های مدل‌های بهینه در سطح دوم و سوم پالایه موجک تقریباً برابر مقادیر هزینه بهینه پالایه دوطرفه است.

۵-۲- ارزیابی فازی مدل‌ها

هزینه بهینه‌سازی پالایه‌ها و هزینه مدل بهینه ترکیب پالایه‌ها توسط الگوریتم ژنتیک به دست می‌آید. این مدل‌ها می‌تواند به شکل ساختار ژن‌های یک کروموزوم کد شوند. شکل ۴ کد شدن ترکیب پالایه موجک سطح سوم و پالایه دوطرفه به یک کروموزوم با ۱۱ ژن را نشان می‌دهد. هر کروموزوم توسط ژن‌ها به دو ارزش علامت‌گذاری می‌شوند. این ارزش‌ها برابر ۰،۱ می‌باشند. عدد ۱ در هر ژن نشان‌دهنده اعمال پالایه دوطرفه در آن ژن است. از ۱۱ ژن، دو ژن اول مشخص‌کننده اعمال یا عدم اعمال پالایه دوطرفه پیش از اعمال موجک و بعد از اعمال

می‌دانیم کدام سیگنال به کدام باند فرکانسی مربوط است و اگر همه آن‌ها را باهم در یک گراف سه‌بعدی نمایش دهیم، زمان را در یک محور، فرکانس را در محور دوم و دامنه را در محور سوم خواهیم داشت. در اینجا نیز با توجه به اصل عدم قطعیت هایزنبرگ^۱ نمی‌توان مشخص کرد کدام فرکانس در کدام لحظه خاص وجود دارد، اما می‌دانیم کدام باند فرکانسی در کدام فاصله زمانی وجود دارد [۹-۱۸]. سپس با اعمال یک آستانه سازی بر فرکانس‌های موردنظر که الگوی فرکانسی نویز می‌باشند منجر به حذف نویزهای ناخواسته می‌شود.

۴- پالایه دوطرفه

می‌توان پالایه دوطرفه را به‌عنوان یک جایگزین مناسب پالایه موجک برای حذف نویز در نظر داشت. در پالایه دوطرفه یک وزن فضایی بدون نرم کردن لبه‌ها اعمال می‌شود. این پالایه به کمک ترکیب دو پالایه دیگر که یکی در حوزه مکانی و دیگری در حوزه شدت عمل می‌کند. بنابراین برای تعیین وزن‌های موردنیاز، به هردوی فاصله مکانی و شدت نیاز است. معادلات زیر خروجی یک پیکسل در نقطه X را مشخص می‌کند.

$$\bar{I}(x) = \frac{1}{c} \sum_{y \in N(x)} e^{-\frac{\|y-x\|^2}{2\sigma_d^2}} e^{-\frac{\|I(y)-I(x)\|^2}{2\sigma_f^2}} I(y) \quad (1)$$

به‌طوری‌که σ_d و σ_f انحراف از معیار برای دو پارامتر فضایی و شدت است. همچنین $N(x)$ مشخص‌کننده پیکسل‌های همسایه پیکسل $I(x)$ است. همچنین C ثابت نرمال ساز است. معادله ۲ این ثابت را نشان می‌دهد.

$$C = \sum_{y \in N(x)} e^{-\frac{\|y-x\|^2}{2\sigma_d^2}} e^{-\frac{\|I(y)-I(x)\|^2}{2\sigma_f^2}} \quad (2)$$

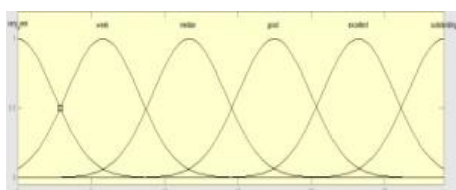
یکی از نقاط ضعف الگوریتم پالایه دوطرفه، ناتوانی آن در حذف نویزهای لفل نمکی است. مشکل دیگر این پالایه طبیعتاً وضوح یک‌طرفه آن است. برخلاف پالایه موجک، پالایه دوطرفه قادر به بررسی فرکانس‌های مختلف نیست. اگرچه این پالایه عملکرد خوبی در حذف نویزهایی با فرکانس بالا دارد ولی برای حذف نویزهای با فرکانس پایین با مشکل مواجه است. موضوع بااهمیت دیگر، نبود کار تحقیقاتی در مورد مقادیر بهینه پارامترهای σ_d و σ_f است. [۸ و ۱۰].

۵- روش پیشنهادی

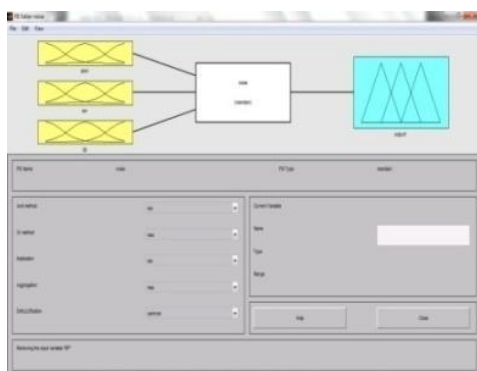
روش پیشنهادی به کمک پالایه موجک تصویر را به فرکانس‌های مختلف تجزیه و به مناسب‌ترین فرکانس، پالایه دوطرفه را اعمال می‌کند. به این منظور ابتدا هر دو پالایه در پارامترها و نویزهای مختلف بهینه می‌شوند.

مقدار شباهت شدت روشنایی بین f ، g است با عددی بین $[0,1]$ مشخص می‌شود. همچنین سومین جزء معادله میزان شباهت وضوح تصاویر را با عددی بین $[0,1]$ مشخص می‌کند. معادله ۵ در دامنه مقادیر بین $[0,1]$ در حال تغییر است و تنها زمانی یک می‌شود که $g_i=f_i$ باشد. کمترین مقدار زمانی رخ می‌دهد که $g_i=2f-f_i$ باشد.

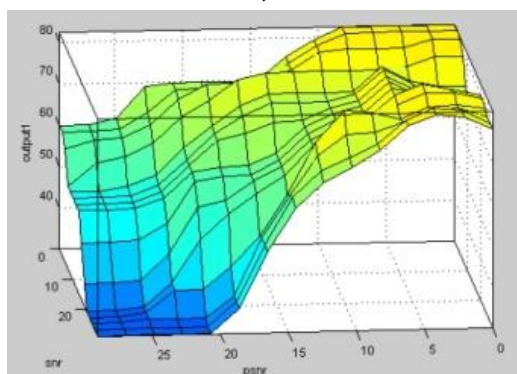
بعد از ارزیابی معیارهای کیفیتی، نتایج به سیستم استنتاج فازی ارسال می‌شوند. عمل فازی سازی برای هر ورودی صورت می‌گیرد. به طور مثال، برای PSNR مقدار ورودی عددی بین $0-30$ است و این مقدار مطابق شکل (۵-الف) فازی می‌شود.



الف



ب



ج

شکل (۵): الف. فازی سازی مقدار ورودی PSNR، ب. ترکیب مقادیر فازی شده توسط قوانین فازی، ج. خروجی تابع هزینه با مقدار ثابت IQI و متغیر PSNR، SNR.

سپس مقدارهای فازی سازی شده توسط قوانین استنتاج فازی ترکیب می‌شود (۵.ب). ترکیب این مقادیر پاد فازی می‌شود و مقدار هزینه هر مدل را تولید می‌کند. شکل ۵.ج نشان دهنده

موجک هستند. ژن‌های شماره‌های ۳ تا ۵ مشخص کننده ضرایب موجک افقی در سطح اول، دوم و سوم هستند. همچنین ژن‌های شماره ۶ تا ۸ و ۹ تا ۱۱ به ترتیب مشخص کننده ضرایب موجک عمودی در سطح اول، دوم و سوم و ضرایب موجک قطری در سطح اول، دوم و سوم هستند.

| PerWave | PostWave | H1 | H2 | H3 | V1 | V2 | V3 | D1 | D2 | D3 |
|---------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |

شکل (۴): کد شدن یک مدل از پالایه‌های دوطرفه و موجک سه سطحی.

سپس، تصویر نهایی تولید شده از مدل با تصویر بدون نویز مقایسه می‌شود. عمل مقایسه با توجه به ملاک‌هایی صورت می‌گیرد. این ملاک‌ها عبارت‌اند از PSNR، SNR و IQI. در معیارهای ذکر شده مقدار مناسب برای PSNR نشان دهنده این نیست که از دیدگاه بصری تصویر خوب به نظر می‌آید بنابراین، از مشخصه کیفیت تصویر به عنوان پارامتر دیگری برای تشخیص میزان کاهش نویز استفاده شده است [۷]. همان گونه که در رابطه ۳ و ۴ ملاحظه می‌شود فرمول میانگین مربعات خطا (Mean Squared Error) و PSNR مشخص شده‌اند.

$$MSE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (g_i - f_i)^2 \quad (3)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \right) \quad (4)$$

در معادله ۴، M نشان دهنده تعداد عناصر تصویر و n نشان دهنده تعداد بیت‌های هر علامت هستند. مشخصه کیفیت تصویر توسط سه عامل که در معادله ۵ مشخص شده‌اند تولید می‌شوند.

$$Q = \frac{\sigma_{fg}}{\sigma_f \sigma_g} \cdot \frac{2\bar{f}\bar{g}}{\bar{f}^2 + \bar{g}^2} \cdot \frac{2\sigma_f \sigma_g}{\sigma_f^2 \sigma_g^2} \quad (5)$$

همچنین پارامترهای آن در زیر مشخص شده است.

$$\bar{f} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M f_i \quad (6)$$

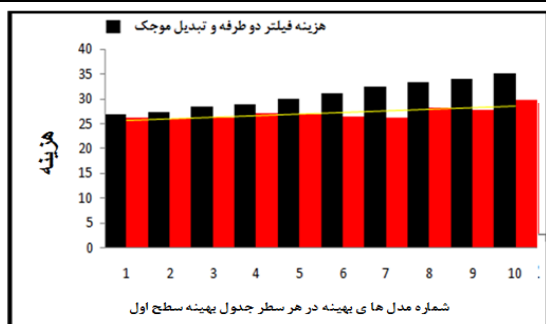
$$\bar{g} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M g_i \quad (7)$$

$$\sigma_{fg} = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^m (f_i - \bar{f})(g_i - \bar{g}) \quad (8)$$

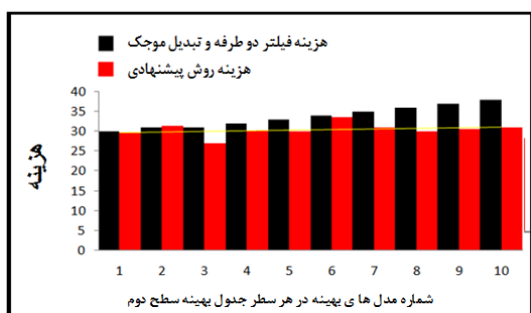
$$\sigma_f^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^m (f_i - \bar{f})^2 \quad (9)$$

$$\sigma_g^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^m (g_i - \bar{g})^2 \quad (10)$$

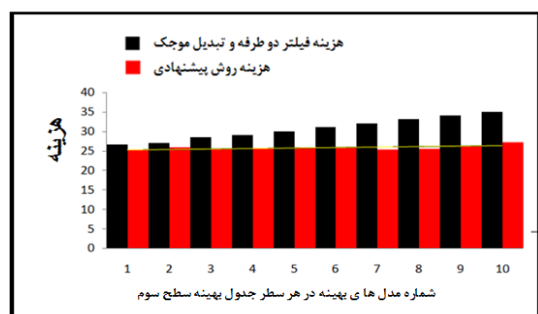
جزء اول معادله (۵) مشخص کننده ضریب همبستگی بین f و g است، که اندازه‌گیری درجه همبستگی خطی بین f و g و محدوده دینامیکی آن در بازه $[-1,1]$ است. جزء دوم معادله که



الف



ب



ج

شکل (۷). اختلاف مقدار هزینه پالایه‌ها با هزینه الگوریتم پیشنهادی سطح الف، اول، ب، دوم، ج، سوم.

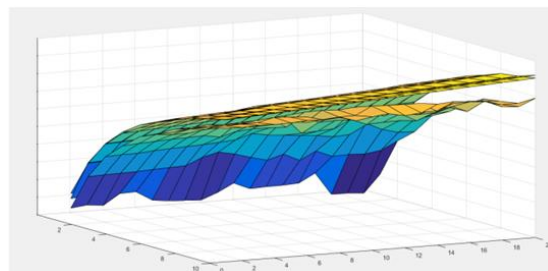
نمودارهای شکل (۶ و ۷) و جدول (۲) نشان می‌دهند که مقدار بهینه الگوریتم پیشنهادی وابستگی کمی به مقادیر بهینه پالایه دوطرفه و تبدیل موجک دارد. همچنین در سطوح اول، دوم و سوم، خط روند^۱ در الگوریتم پیشنهادی، به ترتیب به خط افقی نزدیک‌تر می‌شود. همچنین نزدیک‌ترین محل بین خط روند در الگوریتم پیشنهادی و پالایه‌ها، در محل بهینه پالایه‌ها رخ می‌دهد. این نشان می‌دهد که مقادیر بهینه الگوریتم پیشنهادی نمی‌تواند خیلی بهتر از حالت بهینه دو پالایه شود.

اما، نشان می‌دهد ترکیب پالایه‌ها بر مقادیر حتی غیر بهینه از پارامترهای دو پالایه می‌تواند هزینه‌ای مشابه با حالت بهینه تولید کند. شکل (۸) پنج تصویر بدون نویز، نویز دار، پالایه دوطرفه و پالایه موجک با مقدار هزینه حذف نویز ۳۰ و ترکیب آن‌ها توسط مدل [00111011] را نشان می‌دهد.

خروجی تابع هزینه با مقدار ثابت IQI و متغیر SNR, PSNR است

۵-۳- ترکیب پالایه‌ها توسط الگوریتم ژنتیک

پالایه‌های دوطرفه و موجک توسط الگوریتم ژنتیک باهم ترکیب می‌شوند. شکل ۶ هزینه پالایه دوطرفه و موجک، همچنین هزینه مدل بهینه سطح دوم ناو هواپیمابر که توسط الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شده است نشان می‌دهد.



شکل (۶). هزینه پالایه‌های موجک (سطح دوم) و دوطرفه و هزینه بهینه ترکیب آن‌ها.

در ادامه بررسی، تصویر نویز ۰.۱، شکل (۶) در ادامه در نظر گرفته می‌شود. پارامترهایی از دو پالایه را که اعمال آن پارامترها بر پالایه، هزینه یکسانی برای پالایه‌ها ایجاد می‌کنند در یک سطح قرار داده شده‌اند (جدول ۲). انتخاب هزینه‌های برابر به منظور یکسان‌سازی میزان تأثیر پالایه‌ها بر تصویر نویز دار است. سطرهای بعدی به‌طور تقریبی با اختلاف یک هزینه مشخص شده‌اند.

جدول (۲). تعیین مدل‌های بهینه با اعمال پالایه دوطرفه تطبیقی الف: در سطح دوم تبدیل موجک.

| هزینه | موقعیت | هزینه فیلتر موجک | هزینه فیلتر دو ترفه تطبیقی |
|---------|-------------------|------------------|----------------------------|
| ۲۶.۱۶۴۳ | [۰ ۰ ۱ ۱ ۱ ۰ ۰] | ۲۲.۴۱۳۴ | ۲۲.۴۱۹۱ |
| ۲۵.۹۷۴۷ | [۰ ۰ ۰ ۱ ۱ ۱ ۰ ۱] | ۲۳.۱۱۴۲ | ۲۳.۱۱۷۷ |
| ۲۶.۲۶۹۶ | [۰ ۰ ۰ ۰ ۱ ۱ ۰ ۱] | ۲۴.۰۷۶ | ۲۴.۰۵۰۳ |
| ۲۷.۱۳۱۷ | [۰ ۰ ۰ ۰ ۱ ۱ ۱ ۱] | ۲۵.۰۵۶ | ۲۵.۰۷۱۹ |
| ۲۶.۹۷۶۰ | [۰ ۰ ۱ ۱ ۱ ۱ ۱ ۱] | ۲۶.۰۷۷ | ۲۶.۰۷۳۷ |
| ۲۶.۴۳۰ | [۰ ۰ ۰ ۱ ۱ ۱ ۱ ۰] | ۲۷.۱۴۶ | ۲۷.۱۶۸۱ |
| ۲۶.۲۶۲۹ | [۰ ۰ ۱ ۱ ۱ ۰ ۱ ۱] | ۲۸.۰۴۳۵ | ۲۸.۰۴۱۶ |
| ۲۸.۲۸۰۸ | [۰ ۰ ۱ ۱ ۱ ۱ ۱ ۱] | ۲۹.۰۵۷۷ | ۲۹.۰۰۷۸ |
| ۲۷.۷۵۴۷ | [۰ ۰ ۱ ۱ ۱ ۰ ۱ ۱] | ۳۰.۲۳۵ | ۳۰.۱۵۵۳ |
| ۲۹.۷۶۴۰ | [۰ ۰ ۱ ۱ ۱ ۱ ۱ ۱] | ۳۱.۰۵۵۶ | ۳۱.۰۸۷۵ |
| ۲۶.۱۶۴۳ | [۰ ۰ ۱ ۱ ۱ ۰ ۰] | ۳۲.۳۲۴۵ | ۳۲.۱۱۹۷ |

همان‌طور که از جدول (۲) مشخص است، مدل‌های روش پیشنهادی دارای هزینه کمتر و کارایی بیشتری از پالایه دوطرفه و تبدیل موجک هستند. شکل (۷) اختلاف مقدار هزینه بهینه پالایه دوطرفه و تبدیل موجک را با هزینه بهینه الگوریتم پیشنهادی در تصویر ناو هواپیمابر نشان می‌دهد.

حال کم هزینه ترین مدل در تمامی تصاویر و سطوح را به دست می آوریم. به منظور دستیابی به مدل با کمترین هزینه، مراحل زیر را به ترتیب انجام می گیریم.

- به دست آوردن کم هزینه ترین مدل در هر جدول مدل بهینه.
- به دست آوردن کم هزینه ترین مدل از جدول های مدل بهینه هم سطح در همه تصاویر.
- به دست آوردن کم هزینه ترین مدل از جدول مدل در تمامی سطوح و تصاویر.

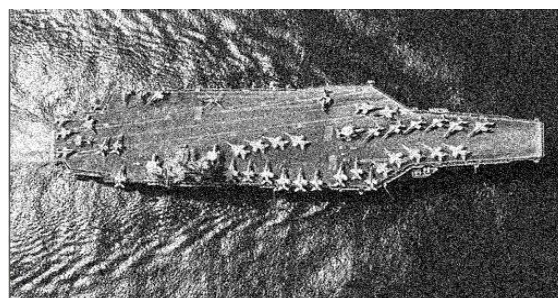
در مرحله اول مناسب ترین مدل های هر جدول را مشخص می شود. به این منظور هر یک از مدل های ستون موقعیت در جدول (۲) به ترتیب انتخاب می شود. مدل انتخاب شده جایگزین دیگر مدل ها از ستون موقعیت می شود. مدل جایگزین شده با متغیرهای σ_d و σ_r و همچنین آستانه حذف نویز سطری که وارد آن شده است ارزیابی می شود. سپس، هزینه مدل جایگزین شده با هزینه مدل بهینه همان موقعیت (پیش از جایگزینی) مقایسه می شود.

جمع اختلاف های یک مدل جایگزین شده با مدل های بهینه (پیش از جایگزینی) به دست آورده می شود. مدلی که در جایگزینی با پارامترهای مدل های دیگر کمترین اختلاف تجمعی را داشته باشد به عنوان کم هزینه ترین مدل آن جدول شناخته می شود.

در مرحله دوم، از هر جدول، چهار مدل با کمترین اختلاف تجمعی به عنوان مدل های بهینه در جدول (۳) قرار داده می شوند. عملیات مشابه برای تصاویر دیگر نیز انجام می شود. سپس عملیات جایگزینی مدل های جدول (۳)، در جدول هم سطح از سه تصویر انجام می گیرد (سی جایگزینی به ازای هر مدل). بنابراین، کم هزینه ترین مدل هر سطح در هر سه تصویر به دست می آید. سپس هزینه مدل ها در سه سطح مقایسه و کم هزینه ترین مدل در تمامی سطوح مشخص می شود.



الف



ب



ج



د



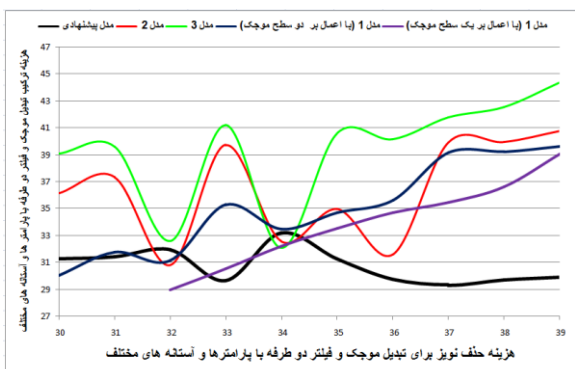
ه

شکل (۸). الف. تصویر بدون نویز، ب. تصویر نویز دار، ج. د. تصویر بعد از اعمال پالایه دوطرفه و تبدیل موجک با هزینه حذف نویز ۳۰، ه. ترکیب دو پالایه با مدل [0 0 1 1 1 0 1 1] و هزینه حذف نویز ۲۷.

نظر به نمودار شکل (۹)، مشاهده می‌شود که مدل شماره ۱ سطح دوم تصویر ناو هواپیمابر، کمترین هزینه تجمعی را دارد. بنابراین مدل با ساختار [0 0 0 1 1 1 0 1] مناسب‌ترین مدل برای تمامی تصاویر است.

۶- شبیه‌سازی

مدل یافت شده نشان‌دهنده اعمال پالایه دوطرفه بر ضرایب عمودی سطح اول و ضرایب افقی، عمودی و قطری سطح دوم است. مدل‌های شماره ۱ زیردریایی و ۱ کشتی جنگی دارای کمترین هزینه می‌باشند. هردوی این مدل‌ها در سطح دوم رخداده و ساختاری مشابه و به شکل [0 0 1 1 1 0 1] دارند. این مدل با تعدادی از مدل‌های مشابه مقایسه می‌شود. به این منظور، یک تصویر نمونه، مورد مقایسه مدل پیشنهادی و سه مدل دیگر قرار می‌گیرد. مدل‌های مورد ارزیابی علاوه بر مدل پیشنهادی به ترتیب بانام‌های مدل ۱ پیشنهادشده در [۵] و مدل‌های ۲ و ۳ به ترتیب پیشنهادشده در [۸-۹] مشخص می‌شوند.



شکل (۱۰): مقایسه مدل‌های مختلف حذف نویز.

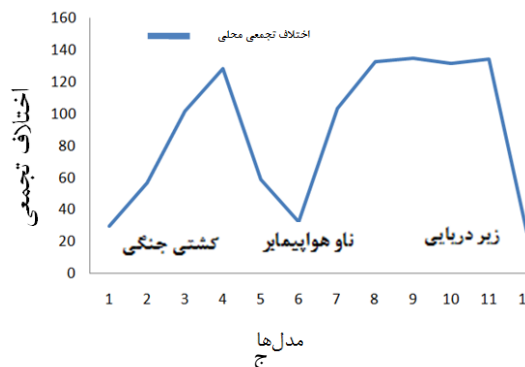
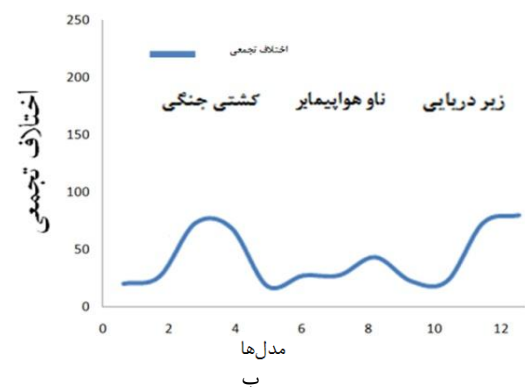
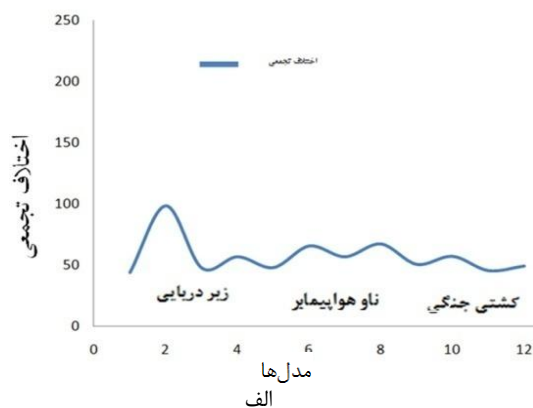
مطابق شکل (۱۰)، مدل پیشنهادی دارای مناسب‌ترین هزینه و پایدارترین حالت در میان مدل‌های مورد مقایسه هست. شکل (۸) نتایج اعمال مدل پیشنهادی و دیگر مدل‌ها را بر تصویر مورد مقایسه، در حالتی که پالایه دوطرفه و تبدیل موجک هزینه ۳۹ را دارند، نشان می‌دهند (در انتهای تصویر یا بدترین وضعیت پارامترها).

همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود مدل پیشنهادی عملکرد مناسب‌تر و پایدارتری نسبت به دیگر مدل‌ها از خود نشان می‌دهد. همچنین، مدل ۱ با اعمال بر یک سطح از موجک عملکرد خوبی دارد، اما بر روی سطح آب دریا جزئیات بیشتری حذف شده است.

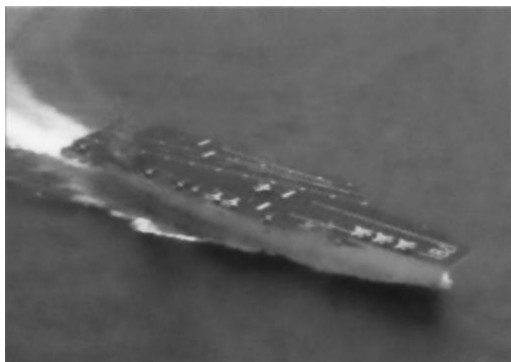
جدول (۳): مدل‌های با کمترین اختلاف تجمعی از میان تمامی

تصاویر و در تمامی سطوح

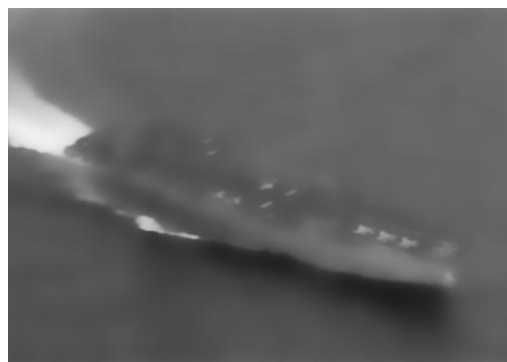
| | سطح سه | سطح دو | سطح یک |
|---------------|--------------------|----------------|-----------|
| زیر دریایی | ۱ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |
| | ۲ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |
| | ۳ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |
| | ۴ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |
| ناو هواپیمابر | ۱ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |
| | ۲ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |
| | ۳ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |
| | ۴ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |
| کشتی جنگی | ۱ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |
| | ۲ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |
| | ۳ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |
| | ۴ [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱] | [۰.۰۰۱۱۱] |



شکل (۹): نشان‌دهنده جمع تجمعی خطای مدل‌های مختلف الف. سطح سوم، ب. سطح دوم، ج. سطح اول.



ب



الف



د



ج



ی



ه

شکل (۱۱): مقایسه مدل‌های مختلف حذف نویز. الف) مدل ۳، ب) مدل ۲، ج) مدل ۱ با اعمال بر دو سطح از تبدیل موجک، د) مدل ۱ با اعمال بر یک سطح از تبدیل موجک، ه) مدل پیشنهادی، ی) تصویر بدون نویز.

مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج مقایسه مدل پیشنهادی نشان‌دهنده کاهش هزینه و تولید تصاویر با نویز کمتر است.

همچنین با در نظر گرفتن زمان، پیچیدگی محاسبات و هزینه مدل‌های حذف نویز، سطح دوم هزینه‌های حذف نویز مطلوب‌تری را تولید می‌کند. در تمامی سطوح مورد بررسی، هزینه حذف نویز بهینه روش پیشنهادی از هزینه حذف نویز پالایه دوطرفه و تبدیل موجک کمتر است.

۷- نتیجه‌گیری

این مقاله شامل بررسی یک ساختار تولید و ارزیابی فازی مدل‌های ترکیبی شامل پالایه موجک و دوطرفه تطبیقی است. ترکیب پالایه دوطرفه و موجک قابلیت حذف نویز چند وضوحی را به سیستم می‌دهد به طوری که می‌توان نویز را در فرکانس‌های مختلف تصویر تشخیص و حذف کند. هزینه‌های حذف نویز روش پیشنهادی و پالایه دوطرفه و موجک استخراج و به صورت فازی

همچنین، به کمک تغییر ترکیب مدل‌ها با پارامترهای غیر بهینه می‌توان هزینه در حدود هزینه بهینه پالایه‌ها تولید نمود. مدل بهینه فراگیر با ساختار $[0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1]$ دارای مناسب‌ترین هزینه در هر سه تصویر به دست آمد. نتایج مقایسه مدل‌ها نشان از عملکرد مطلوب‌تر و پایداری بیشتر مدل فراگیر نسبت به دیگر مدل‌های مورد مقایسه دارد.

۸- مراجع

- [1] Ajay Kumar Boyatl and Brijendra Kumar Joshi, "A REVIEW PAPER: NOISE MODELS IN DIGITAL IMAGE PROCESSING", Signal & Image Processing : An International Journal (SIPIJ) Vol.6, No.2, pp. 1-18. 2015.
- [2] alae M, amiri R. Noise Cancellation of RADAR Reflected Signal Using the Chirplet Transform. 3. Vol. 1, No.1, pp.33-42. 2010. (In Persian)
- [3] Karthikeyan P, Vasuki S, "Multiresolution joint bilateral filtering with modified adaptive shrinkage for image denoising", An International Journal Multimedia Tools and Applications, pp. 297-302. 2015.
- [4] Balasubramanian Gopalan, A. Chilambuchelvan, S. Vijayan, and G. Gowrison, "Performance Improvement of Average Based Spatial Filters through Multilevel Preprocessing using Wavelets", IEEE Signal Processing Letters, Vol. 22, No. 10, October. pp. 1698-1702, 2015.
- [5] Ju Zhang, Guangkuo Lin, Lili Wu, Chen Wang, Yun Cheng, "Wavelet and fast bilateral filter based de-speckling method for medical ultrasound images", Biomed. Signal Proc. and Control, Vol.18, pp.1-10, 2015.
- [6] Manoj Diwakar, Sonam, Manoj Kumar, "CT image denoising based on complex wavelet transform using local adaptive thresholding and Bilateral filtering", WCI '15 Proceedings of the Third International Symposium on Women in Computing and Informatics, pp. 297-302. 2015.
- [7] Nidhi Chandrakar, Mr. Devanand Bhonsle, "A New Hybrid Image Denoising Method", Journal of Engineering, Computers & Applied Sciences (JEC&AS), Volume 2, No.1, January, 2013.
- [8] Sudipta Roy, Nidul Sinha, Asoke K. Sen, "An Efficient Denoising Model based on Wavelet and Bilateral Filters", International Journal of Computer Applications (0975-8887), Vol. 53, No. 10, Sept. 2012.
- [9] B. Ergen "Signal and Image Denoising Using Wavelet Transform", Advances in Wavelet Theory and Their Applications in Engineering, Physics and Technology, Dr. Dumitru Baleanu (Ed.), ISBN: 978-953-51-0494-0, InTech, 2012.
- [10] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral Filtering for Gray and Color Images", Proc. Int. Conf. Computer Vision, pp. 839-846, 1998.
- [11] L. Pape, K. Giammarco, J. M. Colombi, C. H. Dagli, N. H. Kilicay-Ergin, George Rebovich, "A Fuzzy Evaluation method for System of Systems Meta-architectures", CSER, pp. 245-254, 2013.