

Quality Preserving in Image Noise Removal by Using Texture Information

Zeinab Khodabakhshi¹, Sekine Asadi Amiri^{2*}, and Hamid Hassanpour³

^{1,3}- Department of Computer Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

^{2*}- Faculty of Technology and Engineering, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

¹Zkhodabakhshi52@yahoo.com, ^{2*}Asadi_amiri@yahoo.com, and ³H_hassanpour@yahoo.com

Corresponding author address: Sekine Asadi Amiri, Faculty of Technology and Engineering, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

Abstract- The existence of noise in image reduces its quality and hinders analysis of the image. Image noise reduction techniques are often accompanied with artifact, especially in facing with strong noise. Since sensitivity of human visual system is not alike in all areas of image, i.e. smooth and nonsmooth areas, noise removal can be performed considering the textual information of the image. The proposed approach intends to earnestly remove noise from the smooth region as it is more obvious to human visual system. Indeed, the filtered image produces less artifact in nonsmooth region, as the noise is superficially removed from the nonsmooth region. In the proposed method, the image is segmented into smooth and non-smooth regions using entropy information of the image. Then to remove the noise from each region, the diffusion filter with different parameters is used. The proposed method not only removes the noise but also preserves the edges and details of the image. The proposed method was evaluated using several noisy images and images from CSIQ and IVC databases. According to subjective and objective quality results, accuracy of the proposed method in Gaussian noise reduction is better than the previous works.

Keywords- Noise Removal, Diffusion Filter, Texture, Human Vision System.

حفظ کیفیت در رفع نویز از تصویر با بهره‌گیری از اطلاعات بافت

زینب خدابخشی^۱، سکینه اسدی امیری^{۲*}، حمید حسن پور^۳

^۱ دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

^{۲*} دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

^۱Zkhodabakhshi52@yahoo.com, ^{۲*}Asadi_amiri@yahoo.com, ^۳H_hassanpour@yahoo.com

* نشانی نویسنده مسئول: سکینه اسدی امیری، بابلسر، دانشگاه مازندران، دانشکده فنی و مهندسی.

چکیده- وجود نویز در تصویر باعث کاهش کیفیت آن می‌شود، و تحلیل آن را دچار مشکل می‌کند. روش‌های رفع نویز، بخصوص در مواجهه با نویزهای قوی در تصویر، غالباً خرابی‌هایی نیز به همراه دارند. با توجه به آنکه حساسیت سیستم بینایی انسان به همه نواحی تصویر (نواحی هموار و غیرهموار) به یک میزان نیست، در این تحقیق حذف نویز بر اساس نواحی بافتی تصویر انجام می‌شود. روش ارائه شده در این مقاله، نویز موجود در نواحی هموار را به دلیل اثرگذاری بیشتر بر روی سیستم بینایی انسان با شدت بیشتری حذف می‌کند. در واقع با دخالت کمتر فیلتر در نواحی غیرهموار، اثرات کمتری از خرابی ناشی از فیلتر در تصویر بهسازی شده مشاهده خواهد شد. در روش پیشنهادی، با استفاده از اطلاعات آنتروپی، تصویر به دو ناحیه بافت هموار و غیرهموار قطعه‌بندی می‌شود. سپس برای حذف نویز در هر یک از این دو ناحیه، از فیلتر انتشار با مقادیر پارامترهای مختلف استفاده می‌شود. در واقع در روش پیشنهادی، ضمن کاهش اثر نویز در تصویر، لبه‌ها و جزئیات تصویر نیز به خوبی حفظ می‌شوند. روش پیشنهادی بر روی چندین تصویر نویزی و تصاویر پایگاه داده CSIQ و IVC ارزیابی شده است. نتایج کیفی و کمی حاکی از آن است که روش پیشنهادی در حذف نویز گوسی از تصویر، در مقایسه با روش‌های پیشین به مراتب عملکرد بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی: حذف نویز، فیلتر انتشار، بافت تصویر، سیستم بینایی انسان.

۱- مقدمه

[۹] نمونه‌هایی از فیلتر غیرخطی هستند. یکی از روش‌های حذف نویز کارآمد، استفاده از فیلتر انتشار می‌باشد. این فیلتر به دلیل کارایی خوب و بارمحاسباتی اندک اخیراً توجه پژوهش‌گران زیادی را به خود جلب کرده است [۱۰] و [۱۱]. در این مقاله نیز، حذف نویز به کمک فیلتر انتشار انجام می‌گیرد.

روش‌های حذف نویز موجود، خرابی‌های جدیدی نیز متناسب با شدت نویز به تصویر اعمال می‌کنند. به عنوان مثال، در بکارگیری فیلتر میانه، لبه‌ها در تصویر بهسازی شده متناسب با اندازه پنجره جابجا می‌شوند. به عنوان مثال دیگر، در رفع نویز تصویر به کمک فیلتر انتشار، جزئیات تصویر، بخصوص در تصاویر با شدت نویز بالا، بطور مشهودی هموار می‌شود. شکل ۱ خرابی حاصل از اعمال فیلتر میانه و فیلتر انتشار در رفع نویز تصویر را به خوبی نشان می‌دهد.

نویزها تغییرات تصادفی و ناخواسته‌ای هستند که بر پیکسل‌های تصویر تاثیر می‌گذارند، و منجر به از بین رفتن اطلاعات و جزئیات تصویر می‌شوند [۱]. حذف نویز تصویر نه تنها باعث بهبود کیفیت تصویر می‌شود، بلکه به عنوان یک فرآیند پیش‌پردازش در کاربردهایی همچون پزشکی [۲]، تصاویر ماهواره‌ای [۳]، و بخش‌بندی تصویر [۴] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش‌های حذف نویز تصویر به دو گروه کلی مبتنی بر فیلترهای خطی و غیرخطی دسته‌بندی می‌شوند. فیلترهای خطی، همچون فیلتر میانگین و گوسی از عملگر پیچش^۱ برای حذف نویز تصویر استفاده می‌کنند. فیلترهای غیرخطی، ضمن تلاش برای حذف نویز، سعی بر حفظ ساختار لبه و جزئیات تصویر دارند. فیلتر وینر^۲ [۵]، فیلتر میانه^۳ [۶]، فیلتر انتشار^۴ [۷]، موجک^۵ [۸] و روش‌های فازی

می‌شود. معیارهای ارزیابی کیفیت تصویر و نتایج این مقاله به ترتیب در بخش‌های چهارم و پنجم ارائه شده‌اند، و در انتها نیز نتیجه‌گیری انجام می‌شود.



شکل ۲: تاثیر متفاوت اثر نویز از نظر سیستم بینایی انسان در مشاهده تصویر. (الف) تصویر مرجع (ب) تصویر آغشته به نویز گوسی

۲- مروری بر کارهای گذشته

تغییرات روشنایی تصویر را همانند مدل تغییرات دما در محیط با به‌کارگیری معادلات مشتقات جزئی در پردازش تصویر، به‌صورت تابع گوسی می‌توان مدل کرد [۱۴]. بر این اساس، هر گونه تغییرات ناگهانی در تصویر به‌عنوان نویز شناخته می‌شود. به‌کارگیری این روش، ابزار قدرتمندی را در حذف نویز تصویر در اختیار ما قرار می‌دهد. ایده اصلی معادلات انتشار گرما براساس تکرار است. معادله انتشار گرما برای یک تصویر $I(x, y, t)$ ، به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود [۱۵]:

$$\frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} = \nabla^2 I(x, y, t) = \frac{\partial^2 I(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I(x, y, t)}{\partial y^2} \quad (1)$$

در معادله فوق، تصویر $I(x, y, 0)$ برابر $I(x, y)$ هست که بیانگر تصویر اولیه در زمان $t = 0$ است و $I(x, y, t)$ تصویر در لحظه t می‌باشد. با حل معادله انتشار در زمان $t = 0.5\sigma^2$ ، تصویری حاصل می‌شود که نتیجه پیچش تصویر اولیه با فیلتر گوسی با انحراف معیار σ است. معادله فوق را به‌صورت رابطه زیر می‌توان خلاصه کرد [۱۵]:

$$\frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} = \nabla \cdot (r(x, y, t) \nabla I(x, y, t)) \quad (2)$$

در معادله فوق، ∇ عملگر گرادیان، $r(x, y, t)$ فاکتور یا ضریب انتشار و $\nabla \cdot$ عملگر دیورژانس است. ضریب انتشار، بیانگر شدت تغییرات معادله نفوذ از یک ناحیه به ناحیه دیگر است. به‌عبارت دیگر، این پارامتر نقش مهمی را در عمل حذف نویز ایفا می‌کند. اگر r ، یک مقدار ثابت و مستقل از x ، y و t باشد، معادله فوق یک معادله انتشار با فاکتور انتشار همگن^۶ نامیده می‌شود. این حالت، بین پیکسل‌های مربوط به لبه‌ها و سایر پیکسل‌های موجود در تصویر تفاوتی قائل نمی‌شود و همه پیکسل‌های تصویر به یک اندازه هموار



(ب) تصویر با نویز گوسی



(الف) تصویر اصلی



(د) نتیجه اعمال فیلتر انتشار (با بزرگ‌نمایی ۲)



(ج) نتیجه اعمال فیلتر میانه (با بزرگ‌نمایی ۲)

شکل ۱: خرابی حاصل از فیلتر میانه و انتشار در رفع نویز تصویر.

با توجه به آنکه تمام نواحی یک تصویر به یک میزان روی سیستم بینایی انسان تأثیرگذار نیستند، شایسته است که این موضوع مهم در عملیات بهسازی تصویر مورد توجه قرار گیرد. به عبارت دیگر، در فیلتر کردن یک تصویر، به نواحی قابل چشم‌پوشی، توجه کمتری شود تا از دید مشاهده‌گر ضعف‌های فیلتر کردن مشهود نباشد.

سیستم بینایی انسان در ارزیابی یک تصویر توجه ویژه‌ای به بافت، رنگ و لبه‌های آن دارد [۱۲] و [۱۳]. در واقع، چشم انسان به نواحی با بافت متراکم نسبت به نواحی با بافت هموار، حساسیت کمتری نشان می‌دهد. برای نمونه در شکل ۲، یک تصویر آغشته به نویز گوسی نشان داده شده است. در این تصویر، نویز گوسی به‌صورت یکنواخت در سراسر تصویر اعمال شده است، اما وجود آن در همه جای تصویر بطور یکسان قابل مشاهده نیست. در واقع خرابی در نواحی هموار بیشتر از نواحی با بافت متراکم برای سیستم بینایی انسان آزار دهنده است. بر این اساس، بهتر است حذف نویز به صورت محلی و با توجه به بافت تصویر انجام شود، تا ضمن حذف نویز، لبه‌ها و جزئیات تصویر نیز حفظ شوند. از این‌رو در روش پیشنهادی، ابتدا با توجه با اطلاعات بافت، تصویر به دو ناحیه هموار و غیرهموار قطعه‌بندی می‌شود. سپس عملیات حذف نویز با استفاده از فیلتر انتشار غیرهمگن با شدت متفاوت روی هر یک از دو ناحیه هموار و غیرهموار اعمال می‌گردد.

در بخش بعدی مقاله، فیلتر انتشار معرفی و مقالات حذف نویز مرتبط با آن مرور می‌شوند. در بخش سوم، روش پیشنهادی معرفی

تجزیه می‌شود. هر کدام از این دو مؤلفه، تصویری در اندازه تصویر اصلی هستند. مؤلفه روشنایی تصویر، اغلب فرکانس‌های پایین تصویر را تشکیل می‌دهد، زیرا تغییرات نور در محیط به آرامی انجام می‌شود. در مقابل، مؤلفه بازتابش ممکن است تغییرات ناگهانی داشته باشد (خصوصاً در مرز بین اشیاء مختلف). از این‌رو مؤلفه بازتابش، فرکانس‌های بالای تصویر را تشکیل می‌دهد [۱۹]. پس از تجزیه تصویر به دو مؤلفه روشنایی و بازتابش، هر یک از این دو مؤلفه با فیلتر انتشار حذف نویز می‌شوند. در مرجع [۲۰] برای حذف نویز در تصاویر سی‌تی اسکن، از فیلتر انتشار غیرخطی بهبود یافته بر پایه هرم لاپلاسیین استفاده شده است. مرجع [۲۱] از دو مقدار سطح خاکستری محلی و گرادیان تصویر با استفاده از فیلتر انتشار غیرهمگن جهت حذف نویز در تصاویر X-Ray بهره می‌برد. مرجع [۲۲] برای حذف نویز تصویر از معادله انتشار مرتبه چهارم استفاده می‌کند. برای کاهش اثر همواری ناشی از این معادله این مرجع از ماتریس هسین^{۱۱} استفاده می‌کند. در [۲۳] در یک فرآیند تکراری، با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی محلی (LPCA) مقدار پارامتر فیلتر انتشار برآورد می‌شود. به طور کلی، روش‌های موجود حذف نویز مبتنی بر فیلتر انتشار یک مقدار k را به تمامی نواحی تصویر اعمال می‌کنند، این امر سبب هموار شدن تصویر می‌شود. از آنجایی که تمامی نواحی تصویر به یک میزان روی سیستم بینایی انسان تاثیر ندارند، بهتر است با توجه به سیستم بینایی انسان حذف نویز انجام شود.

۳- روش پیشنهادی

در این مقاله یک روش حذف نویز محلی مبتنی بر سیستم بینایی انسان پیشنهاد شده است. ابتدا تصویر به دو ناحیه بافت متراکم و هموار تقسیم می‌شود. سپس هر یک از این دو ناحیه به کمک فیلتر انتشار با پارامتر متفاوت حذف نویز می‌شوند. شکل ۳ بلوک دیاگرام روش حذف نویز پیشنهادی را نشان می‌دهد. در ادامه جزئیات روش پیشنهادی معرفی می‌شود.

۳-۱- قطعه‌بندی تصویر

همان‌طور که اشاره شد، خرابی در ناحیه‌های هموار و متراکم از یک تصویر به یک میزان روی سیستم بینایی انسان تاثیرگذار نیستند. از این‌رو در روش پیشنهادی، ابتدا تصویر به دو ناحیه هموار و متراکم قطعه‌بندی می‌شود. برای قطعه‌بندی تصویر به این دو ناحیه، از مفهوم پیکسون^{۱۲} و خوشه‌بندی میانگین فازی (FCM^{۱۳}) استفاده شده است. برای افزایش دقت قطعه‌بندی، ابتدا تصویر نویزی ورودی با یک فیلتر هموارساز مانند میانگین، هموار می‌شود. سپس تصویر هموار شده، پیکسون‌بندی می‌گردد. پیکسون، مجموعه‌ای از

می‌شوند. از این‌رو، حذف نویز با این معادله، سبب تخریب و نرم شدن لبه‌ها می‌شود. جهت برطرف کردن این نقص می‌توان ضریب نفوذ را متغیر با مکان یعنی، تابعی از x و y در نظر گرفت. حال اگر r وابسته به تصویر باشد، آنگاه معادلات خطی به معادلات غیرخطی یا ناهمگن^۷ تبدیل می‌شوند. دو معادله مختلف برای ضریب نفوذ مطابق روابط زیر پیشنهاد شده است [۱۲ و ۱۵]:

$$r(x, y, t) = \frac{1}{1 + \frac{|VI|^2}{k^2}} \quad (۳)$$

$$r(x, y, t) = \exp\left(-\frac{|VI|^2}{2k^2}\right) \quad (۴)$$

در این روابط، ضریب نفوذ r ، در نقاط مختلف تصویر تغییر می‌کند. برای پیکسل‌هایی که دارای گرادیان بالایی (نواحی فرکانس بالا) هستند، مقدار ضریب نفوذ کاهش می‌یابد. کاهش ضریب نفوذ برای گرادیان‌های بالای تصویر، نشان‌دهنده قابلیت این معادلات در کنترل مشکل هموارسازی لبه‌ها است. در این دو معادله، پارامتر k که به ضریب بازگشتی مشهور است، فاکتوری برای کنترل اثر ضریب نفوذ است. باید توجه داشت که انتخاب یک مقدار مناسب برای ضریب بازگشتی در فرآیند حذف نویز بسیار اهمیت دارد. زیرا اگر مقدار ضریب بازگشتی k در یک تصویر بزرگ‌تر از حد مورد نیاز باشد، باعث هموار شدن و در نتیجه از بین رفتن لبه‌های تصویر می‌شود، در صورتی که اگر مقدار ضریب بازگشتی خیلی کوچک باشد، حذف نویز تصویر به خوبی صورت نمی‌گیرد. دو معادله ضریب نفوذ فوق رفتار تقریباً یکسانی دارند، اما معادله (۳) با مقدار ضریب نفوذ بزرگ‌تر برای عملیات حذف نویز به کار می‌رود، در صورتی که معادله (۴) با مقدار ضریب نفوذ کوچک‌تر، برای حفظ کنتراست تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله از رابطه (۳) برای محاسبه ضریب نفوذ استفاده می‌شود. در [۱۶]، روشی برای تعیین خودکار مقدار پارامتر ضریب بازگشتی معرفی شده است. اگر چه در این روش، به صورت خودکار مقدار k تخمین زده می‌شود، ولی یک مقدار ثابت k برای تمامی نواحی یک تصویر در نظر گرفته می‌شود. از این‌رو، عملیات حذف نویز منجر به از بین رفتن جزئیات در نواحی بافت متراکم و لبه‌های تصویر می‌شود. در [۱۵] برای تخمین دقیق‌تر مقدار یک پیکسل، هشت همسایه هر پیکسل در نظر گرفته می‌شود. در [۱۷] برای حذف نویز تصویر از ترکیب فیلتر انتشار با تبدیل موجک استفاده شده است. در این روش، فیلتر انتشار به زیر باند فرکانس پایین تبدیل موجک اعمال می‌شود.

در [۱۸] از ترکیب فیلتر همومورفیک و فیلتر انتشار برای حذف نویز تصویر استفاده شده است. در این روش، ابتدا با استفاده از فیلتر همومورفیک، تصویر به دو مؤلفه روشنایی^۸ و بازتابش^۹ (انعکاس)



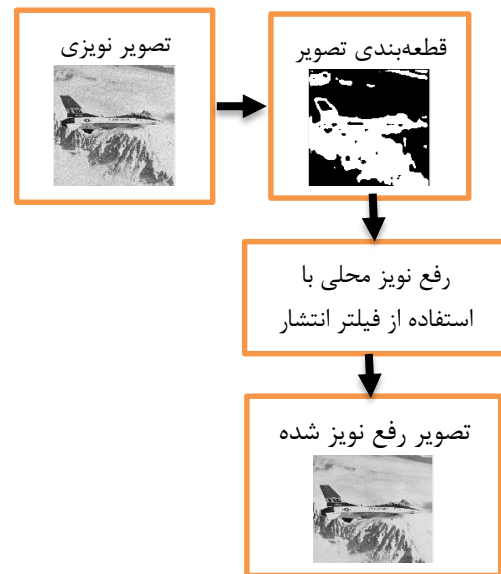
شکل ۴: نتیجه قطعه‌بندی تصویر به دو ناحیه بافت متراکم و هموار. (الف) تصویر نویزی (ب) تصویر قطعه‌بندی شده

۳-۲- رفع نویز محلی تصویر

با استفاده از روش قطعه‌بندی مبتنی بر بافت، تصویر به دو ناحیه با بافت متراکم و هموار قطعه‌بندی می‌شود. سپس هر یک از این دو ناحیه توسط فیلتر انتشار غیرهمگن به صورت مجزا حذف نویز می‌شوند. همان‌طور که اشاره شد، نویز در نواحی هموار بیشتر از نواحی با بافت متراکم برای سیستم بینایی انسان آزار دهنده است. علاوه بر این، حذف نویز نواحی متراکم منجر به از بین رفتن جزئیات و لبه‌های تصویر می‌شود، در حالی که حذف نویز نواحی هموار، خرابی قابل توجهی روی تصویر ایجاد نمی‌کند. لذا حذف نویز هر یک از دو ناحیه هموار و متراکم تصویر باید با شدت متفاوتی انجام شود تا علاوه بر حذف نویز، لبه‌ها و جزئیات در تصویر بهسازی شده حفظ شوند.

همان‌طور که در بخش ۲ اشاره شد، پارامتر ضریب بازگشتی k تاثیر بسزایی در عملکرد فیلتر انتشار دارد. مقدار بزرگ برای ضریب بازگشتی k ، باعث هموار شدن و در نتیجه از بین رفتن لبه‌های تصویر می‌شود، اما مقدار کوچک این ضریب سبب می‌شود حذف نویز تصویر به خوبی صورت نگیرد. لذا در روش پیشنهادی، برای نواحی هموار تصویر از مقدار k بزرگ و برای نواحی بافت متراکم از مقدار k کوچک استفاده شده است. از این‌رو ماتریسی از مقادیر k به اندازه تصویر ایجاد می‌شود که هر مقدار این ماتریس متناظر با مقدار k برای پیکسل مربوطه از تصویر است. تغییر ناگهانی مقدار k برای دو ناحیه هموار و متراکم ممکن است سبب ایجاد مرزهای ناخواسته‌ای در تصویر حذف نویز شده گردد. از این‌رو، ابتدا ماتریس مقادیر k با یک فیلتر پایین‌گذر هموار می‌شود، تا از تغییر ناگهانی مقادیر k برای پیکسل‌های مرز بین دو ناحیه هموار و متراکم کاسته شود. سپس هر یک از پیکسل‌های تصویر با فیلتر انتشار غیرهمگن براساس مقدار k متناظر حذف نویز می‌شوند. شکل ۵ نتیجه حذف نویز محلی شکل ۴(الف) را با دو مقدار k ، ۵ و ۲۰، به ترتیب برای دو ناحیه متراکم و هموار نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل

پیکسل‌های به هم پیوسته است که از نظر معیارهایی همچون بافت یا رنگ با هم مشابهت دارند. اجتماع پیکسون‌ها در کنار یکدیگر، تصویر اصلی را می‌سازند. برای تشکیل تصویر پیکسونی، ابتدا از یک پیکسل واقع در گوشه‌ای از تصویر شروع کرده و پیکسل‌های همسایه آن را بررسی می‌کنیم. در صورت تطابق هر یک از پیکسل‌های همسایه با پیکسل شروع، بر اساس یک معیار شباهت، روی پیکسل‌ها برجسی یکسان قرار می‌دهیم تا در یک ناحیه قرار گیرند، در غیر این‌صورت، ناحیه جدیدی در نظر گرفته می‌شود. نواحی تشکیل شده را پیکسون می‌نامند. میانگین مقادیر پیکسل‌های قرار گرفته در هر پیکسون، سطح خاکستری آن پیکسون را تشکیل می‌دهد [۲۴].



شکل ۳: بلوک دیاگرام روش حذف نویز پیشنهادی

در روش پیشنهادی برای تشکیل تصویر پیکسونی از معیار آنتروپی^{۱۴} استفاده شده است. اگر با اضافه شدن یک پیکسل به پیکسون، مقدار آنتروپی پیکسون جدید نسبت به مقدار آنتروپی پیکسون قبل، تغییر چندانی نکند، آن پیکسل به پیکسون اضافه می‌شود. در غیر این صورت، این پیکسل به پیکسون جاری اضافه نمی‌شود و یک پیکسون دیگر شکل می‌گیرد. بدین‌گونه تصویر ورودی براساس معیار آنتروپی، پیکسون‌بندی می‌شود. در واقع، پیکسون‌های تشکیل شده از لحاظ معیار بافت، که براساس آنتروپی محاسبه می‌شوند، با هم مشابهت دارند. سپس تصویر پیکسون‌بندی شده، با استفاده از FCM به دو قطعه تقسیم می‌شود. شکل ۴ نتیجه قطعه‌بندی یک تصویر نویزی که از پایگاه داده CSIQ انتخاب شد را به دو ناحیه هموار و غیرهموار نشان می‌دهد. در این شکل، ناحیه سفید بیانگر بافت متراکم و ناحیه سیاه بیانگر بافت هموار تصویر است.

در این رابطه، X و Y تصویر مرجع و تصویر آزمون، M و N اندازه سطر و ستون تصویر و MAX بیشترین مقدار ممکن روشنایی یک پیکسل از تصویر است.

۴-۲- معیار شباهت ساختاری

معیار شباهت ساختاری، اطلاعات ساختار دو تصویر مرجع و آزمون را مطابق رابطه زیر مورد ارزیابی قرار می‌دهد [۲۶]:

$$S(X, Y) = l(X, Y)^\alpha \cdot c(X, Y)^\beta \cdot s(X, Y)^\gamma \quad (۶)$$

$$= \left(\frac{2\mu_X\mu_Y + C_1}{\mu_X^2 + \mu_Y^2 + C_1} \right)^\alpha \cdot \left(\frac{2\sigma_X\sigma_Y + C_2}{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + C_2} \right)^\beta \cdot \left(\frac{\sigma_{XY} + C_3}{\sigma_X\sigma_Y + C_3} \right)^\gamma$$

در این معادله، μ_X و σ_X میانگین و انحراف معیار تصویر X ، μ_Y و σ_Y میانگین و انحراف معیار تصویر Y ، σ_{XY} همبستگی متقابل بین دو تصویر X و Y است. همچنین اعداد C_1 ، C_2 و C_3 ، ثابت‌هایی کوچک و مثبت هستند که برای جلوگیری از ناپایداری محاسباتی هنگامی که مخرج کسر عدد کوچکی باشد به کار می‌روند. البته، حتی اگر مقدار این سه ثابت برابر صفر انتخاب شود، SSIM باز هم عملکرد قابل قبولی ارائه می‌کند. پارامترهای α ، β و γ ، برای وزن‌دهی هر تابع به کار می‌روند و اغلب برای سادگی، این مقادیر برابر یک در نظر گرفته می‌شوند.

معیار SSIM، ترکیب سه معیار مختلف ارزیابی تصویر است. معیار اول $(l(X, Y))$ ، تابع روشنایی است، که متوسط روشنایی بین دو تصویر را اندازه‌گیری می‌کند. معیار دوم $(c(X, Y))$ ، تابع کنتراست نامیده می‌شود که چگونگی شباهت بین تصاویر را نمایش می‌دهد. معیار سوم $(s(X, Y))$ ، ضریب همبستگی بین دو تصویر X و Y است که وابستگی خطی بین دو تصویر را بیان می‌کند. محدوده تغییرات SSIM در بازه $[-1, 1]$ است. هر چه مقدار آن، به عدد یک نزدیک‌تر باشد، شباهت دو تصویر X و Y به هم بیشتر است.

۴-۳- معیار میزان حفظ لبه

این معیار برای ارزیابی میزان حفظ لبه دو تصویر استفاده می‌شود، و به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود [۲۷]:

$$FOM(X, Y) = \frac{1}{\max(N_Y, N_X)} \sum_{i=1}^N \frac{1}{1 + ad_i^2} \quad (۷)$$

در این رابطه N_X و N_Y ، به ترتیب تعداد پیکسل‌های لبه در تصویر رفع نویز شده و تصویر اصلی می‌باشد. d_i فاصله اقلیدسی بین i امین پیکسل لبه در تصویر حذف نویز شده، با نزدیک‌ترین پیکسل لبه در تصویر اصلی می‌باشد. ثابت α در این رابطه برابر با $\frac{1}{9}$ در نظر گرفته شده است. بازه معیار FOM، $[0, 1]$ می‌باشد. هر چه این معیار به مقدار ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که حفظ لبه‌های تصویر به خوبی صورت گرفته است.

مشخص است، علاوه بر حذف نویز از تصویر، لبه‌ها و سایر جزئیات تصویر حفظ شده است.



شکل ۵: حذف نویز محلی شکل ۴(الف) با فیلتر انتشار.

روش حذف نویز پیشنهادی روی تصاویر رنگی RGB نیز اعمال شده است. برای حذف نویز گوسی از این تصاویر، روش پیشنهادی روی هر سه کانال رنگ RGB به صورت جداگانه اعمال می‌شود. بدین صورت که هر کانال رنگ با روش قطعه‌بندی مبتنی بر بافت به دو ناحیه هموار و متراکم قطعه‌بندی می‌شود. سپس فیلتر انتشار به هر یک از این دو ناحیه اعمال شده و در نهایت کانال‌های رنگ رفع نویز شده با هم ترکیب می‌گردند.

۴-۴- معیار ارزیابی کیفیت تصویر

روش‌هایی برای ارزیابی تصویر بهسازی شده مورد نیاز است تا با استفاده از آن‌ها، به کیفیت بصری تصویر و همچنین کارایی تکنیک‌های رفع نویز امتیاز داد. برای ارزیابی کیفیت تصویر، از دو روش کیفی^{۱۵} و کمی^{۱۶} استفاده می‌شود. معیار ارزیابی نسبت سیگنال به نویز ($PSNR^{17}$)، معیار مناسبی است که شدت نویز موجود در تصویر را مشخص می‌کند. با توجه به آنکه هدف از این مقاله حذف نویز با توجه به سیستم بینایی انسان می‌باشد، علاوه بر معیار ارزیابی PSNR، معیارهای ارزیابی مبتنی بر ادراک انسان نیز استفاده شده است. معیار شباهت ساختاری ($SSIM^{18}$)، معیار ویژگی ساختاری ($FSIM^{19}$)، معیار میزان حفظ لبه (FOM^{20}) و معیار ارزیابی شباهت ساختاری مبتنی بر $MSER-SSIM^{21}$ ، که همواری تصویر را مدنظر قرار می‌دهد، نمونه‌هایی از معیار ارزیابی کمی کیفیت تصویر هستند. این معیارها ارتباط نزدیک‌تری با کیفیت بصری تصویر دارند.

۴-۱- معیار نسبت سیگنال به نویز

این معیار به سادگی با میانگین‌گیری روی مربع اختلاف روشنایی هر پیکسل از تصویر مرجع با پیکسل مربوطه از تصویر آزمون مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۵]:

$$PSNR(X, Y) = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X(i, j) - Y(i, j))^2} \right) \quad (۵)$$

۴-۴- معیار شباهت و ویژگی

دارد. هر چه ناحیه هموارتر باشد تعداد نقاط آغازین کم‌تر خواهد شد. با استفاده از این ویژگی، معیاری برای توصیف همواری یک بلوک (p) از پیکسل‌های تصویر به صورت رابطه زیر مطرح شده است [۲۹]:

$$S_{MSER}(p) = 1 - \min\left(1, \frac{|MSER_{Seeds}(p)|}{C}\right) \quad (9)$$

در رابطه فوق $MSER_{Seeds}(p)$ مجموعه نقاط آغازین MSER برای بلوک p و $C = \frac{1}{2}|p|^2$ ، ضریب تطبیقی است که مقدار این ضریب از تعداد نقاط آغازین بلوک بیشتر است. مقدار همواری بلوک در محدوده [۰ و ۱] می‌باشد، که هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، بلوک مورد نظر هموارتر خواهد بود. برای بدست آوردن همواری کل تصویر با در اختیار داشتن همواری بلوک، از دو الگوی عمومی و محلی استفاده می‌شود. همواری عمومی^{۲۵} و همواری محلی^{۲۶} به ترتیب در رابطه (۱۰) و (۱۱) آورده شده است:

$$GS_{MSER}(I) = S_{MSER}(p) \quad (10)$$

$$LS_{MSER}(I) = \frac{1}{N_p} \sum_{p \in I} S_{MSER}(p) \quad (11)$$

در الگوی محلی، تصویر به بلوک‌های غیر همپوشان با اندازه ۱۶×۱۶ تقسیم‌بندی می‌شود و همواری هر بلوک توسط رابطه (۹) محاسبه شده، و در نهایت با استفاده از رابطه (۱۱) همواری کل تصویر محاسبه می‌گردد. برای ارزیابی میزان شباهت ساختاری مبتنی بر همواری تصویر بهبود یافته، از دو معیار شباهت همواری عمومی و شباهت همواری محلی استفاده می‌شود که به ترتیب در روابط (۱۲) و (۱۳) بیان شده است:

$$Q_1 = 1 - (GS_{MSER}(X) - GS_{MSER}(Y)) \quad (12)$$

$$Q_2 = \frac{2 \times LS_{MSER}(X) \times LS_{MSER}(Y) + C}{LS_{MSER}^2(X) + LS_{MSER}^2(Y) + C} \quad (13)$$

X و Y بترتیب تصویر مرجع و تصویر بهسازی شده است. هر چه مقدار دو رابطه فوق به یک نزدیک‌تر باشد، درک انسان با میزان همواری تصویر سازگارتر است. در این مقاله برای ارزیابی تصویر از رابطه (۱۲) استفاده شده است.

۵- نتایج تجربی

روش پیشنهادی در این مقاله روی مجموعه‌ای از تصاویر استاندارد آغشته به نویز گوسی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل از آن با نتایج مراجع [۱۵]، [۱۸]، و نتایج نسخه ۲۰۱۹ نرم افزار تجاری Neat Image [۳۰] که در زمینه بهبود کیفیت تصویر از جمله رفع نویز می‌باشد، مقایسه شد. در شکل‌های ۶ تا ۹ چند نمونه تصویر خاکستری و رنگی از نتیجه روش پیشنهادی و نتیجه مراجع [۱۵]،

این معیار مبتنی بر معیار شباهت ساختاری می‌باشد و از شباهت ویژگی‌های سطح پایین تصویر، برای مقایسه بین تصویر مرجع و تصویر حذف نویز شده استفاده می‌کند. این معیار از دو جزء تناسب فاز (PC^{۲۲}) و مقدار گردایان تصویر (GM^{۲۳}) استفاده می‌کند. مقدار PC تغییرات شدت، برای دریافت ویژگی‌ها در بیشینه فاز را مشخص می‌کند. این معیار به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود [۲۸]:

$$FSIM = \frac{\sum_{p \in \Omega} S_L(X, Y) \cdot \max(PC_1(X, Y), PC_2(X, Y))}{\sum_{p \in \Omega} \max(PC_1(X, Y), PC_2(X, Y))} \quad (8)$$

در این رابطه $S_L(X, Y) = S_{PC}(X, Y) \cdot S_{GM}(X, Y)$ تابع شباهت بین دو تصویر X و Y می‌باشد. S_{GM} تابع شباهت گردایان تصویر با استفاده از پیکسل‌های افقی و عمودی دو تصویر اصلی و بازیابی شده است، و S_{PC} تابع شباهت تناسب فاز می‌باشد. Ω میانگین مجموع دامنه مکانی (p) تصویر در نظر گرفته می‌شود. معیار FSIM در محدوده [۰ و ۱] تعریف می‌شود، نزدیک بودن معیار فوق به مقدار یک، نشان از کیفیت بالای تصویر حذف نویز شده می‌باشد.

۴-۵- معیار شباهت ساختاری مبتنی بر MSER

معیار شباهت ساختاری مبتنی بر MSER برای ارزیابی میزان همواری مؤلفه‌های فرکانس بالای تصویر تخریب شده با نویز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این معیار توسعه یافته SSIM است و با نام MSER-SSIM شناخته می‌شود. در این معیار میزان قابل درک بودن محتوای تصویر بر اساس میزان همواری نواحی تصویر سنجیده می‌شود. معیار MSER-SSIM بر اساس معیار ناحیه حدی با حداکثر پایداری (MSER)، کار می‌کند. ناحیه حدی، یک ناحیه متصل پایدار درون تصویر است، که با استفاده از آستانه‌گیری از پیکسل‌های مرتب شده سطوح خاکستری تصویر بدست می‌آید. خروجی MSER مجموعه‌ای از نقاط آغازین^{۲۴} هست که یک ناحیه متصل را به ازای هر نقطه آغازین p، از یک مجموعه نقاط همسایگی موجود در سطح روشنایی تصویر تشکیل می‌دهد. تعداد نقاط آغازین موجود در یک ناحیه از تصویر ارتباط نزدیکی با همواری آن ناحیه از تصویر دارد [۲۹].

تغییرات شدت روشنایی پیکسل‌ها در ناحیه هموار کم است، بنابراین تعداد نواحی حدی قابل استخراج از این ناحیه کم خواهد بود. اما در نواحی متراکم سطح خاکستری پیکسل‌ها تغییرات زیادی دارد و به نسبت آن تعداد نواحی حدی قابل استخراج بیشتری خواهد داشت. در نتیجه تعداد نقاط آغازین در یک ناحیه هموار کمتر از تعداد نقاط آغازین در ناحیه متراکم، و برابر با ناحیه هموار خواهد بود. بنابراین تعداد نقاط آغازین در یک ناحیه به میزان همواری آن ناحیه ارتباط

نظر گرفته شد. در روش [۱۵] مقدار این پارامتر برای تمامی نواحی تصویر، یکسان (برای نمونه ۲۰) لحاظ شده است. در روش [۱۸] نیز مقدار k برای هر دو مولفه روشنایی و بازتابش تصویر ۲۰ در نظر گرفته شده است.

[۱۸] و [۳۰] در حذف نویز گوسی تصویر نشان داده شده است. در تمامی این شکل‌ها، تصویر با نویز گوسی با میانگین صفر، و واریانس 0.001 نویزی شده است. در روش پیشنهادی مقدار پارامتر k در فیلتر انتشار غیرهمگن برای ناحیه هموار ۲۰ و ناحیه متراکم ۵ در



(پ) نتیجه مرجع [۱۵]



(ب) تصویر نویزی



(الف) تصویر مرجع



(ج) نتیجه روش پیشنهادی



(ث) نتیجه مرجع [۳۰]



(ت) نتیجه مرجع [۱۸]

شکل ۶: مقایسه کیفی روش پیشنهادی با مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] در حذف نویز گوسی، (نمونه اول).



(پ) نتیجه مرجع [۱۵]



(ب) تصویر نویزی



(الف) تصویر مرجع



(ج) نتیجه روش پیشنهادی



(ث) نتیجه مرجع [۳۰]



(ت) نتیجه مرجع [۱۸]

شکل ۷: مقایسه کیفی روش پیشنهادی با مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] در حذف نویز گوسی، (نمونه دوم).



پ) نتیجه مرجع [۱۵]



ب) تصویر نویزی



الف) تصویر مرجع



ج) نتیجه روش پیشنهادی



ث) نتیجه مرجع [۳۰]



ت) نتیجه مرجع [۱۸]

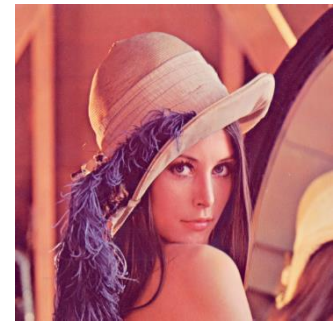
شکل ۸: مقایسه کیفی روش پیشنهادی با مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] در حذف نویز گوسی، (نمونه سوم).



پ) نتیجه مرجع [۱۵]



ب) تصویر نویزی



الف) تصویر مرجع



ج) نتیجه روش پیشنهادی



ث) نتیجه مرجع [۳۰]



ت) نتیجه مرجع [۱۸]

شکل ۹: مقایسه کیفی روش پیشنهادی با مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] در حذف نویز گوسی، (نمونه‌ای از تصویر رنگی)

در نواحی تصاویر می‌باشد. علاوه بر مقایسه کیفی، مقایسه کمی نیز در این مقاله انجام شده است. جدول ۱ نتیجه معیارهای PSNR، SSIM، FSIM، FOM و MSER-SSIM سه روش مذکور برای چهار تصویر فوق را نشان می‌دهد. نتایج کمی نیز بیانگر برتری روش

همان‌طور که از شکل‌های ۶ تا ۹ مشخص است، روش پیشنهادی ضمن حفظ لبه‌ها و جزئیات تصویر، به خوبی توانست اثر نویز را از روی تصویر کاهش دهد. در حالی که نتایج حاصل از مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] بیانگر از بین رفتن لبه‌ها و جزئیات تصویر و همواری

است. نتایج حاصل از این مقایسه برتری روش پیشنهادی در حذف نویز گوسی تصویر در مقایسه با مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] را نشان می‌دهد.

همان‌طور که اشاره شد در فیلتر انتشار پارامتر مهمی به نام ضریب بازگشتی k وجود دارد. این پارامتر برای کنترل اثر ضریب نفوذ استفاده می‌شود. در این مقاله مقدار متفاوتی از پارامتر k برای نواحی هموار (۲۰) و متراکم (۵) به صورت دستی تعیین شده است. البته در آینده می‌توان روش ارائه شده را به گونه‌ای تعمیم داد که با توجه به چگالی نویز، مقدار مناسبی برای پارامتر k تعیین شود.

پیشنهادی نسبت به مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] در حفظ کیفیت بصری تصویر در فرآیند حذف نویز تصویر می‌باشد.

علاوه بر چهار تصویر آزمایش شده فوق که متعلق به پایگاه داده IVC است، روش پیشنهادی روی مجموعه تصاویر دو پایگاه داده CSIQ و IVC آزمایش شده است. این دو پایگاه داده به ترتیب حاوی سی و ده تصویر مرجع می‌باشد. تصاویر در این پایگاه به نویز گوسی با پنج غلظت نویز از ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵ آغشته شده است. روش پیشنهادی به همراه مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] بر روی تمامی تصاویر هر دو پایگاه داده اعمال شده و میانگین نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی PSNR، SSIM، FSIM، FOM و MSER-SSIM بر روی تصاویر رفع نویز شده توسط چهار روش مورد مقایسه در جدول‌های ۲ تا ۴ آمده

جدول ۱: مقایسه کمی روش پیشنهادی با مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] در حذف نویز گوسی.

Lena	Clown	Boat	Barbara		
۳۴/۴۴۵۱	۳۱/۶۹۷۰	۳۲/۰۲۰۸	۳۱/۶۴۰۱	روش [۱۵]	PSNR
۳۵/۲۹۱۹	۳۴/۳۵۶۴	۳۴/۵۷۸۰	۳۲/۲۵۱۴	روش [۱۸]	
۲۹/۰۱۲۶	۲۷/۵۰۵۱	۳۰/۰۸۱۸	۲۸/۳۹۴۲	روش [۳۰]	
۳۵/۳۳۳۵	۳۴/۰۱۳۰	۳۴/۹۷۷۸	۳۳/۱۲۷۰	روش پیشنهادی	
۰/۷۸۱۱	۰/۶۶۱۵	۰/۷۱۰۴	۰/۶۴۳۰	روش [۱۵]	SSIM
۰/۸۱۸۷	۰/۷۹۸۰	۰/۷۶۳۶	۰/۶۸۰۷	روش [۱۸]	
۰/۱۷۶۰	۰/۱۱۶۰	۰/۲۱۴۸	۰/۱۰۵۹	روش [۳۰]	
۰/۸۲۲۸	۰/۸۲۵۰	۰/۷۹۶۰	۰/۸۱۳۷	روش پیشنهادی	
۰/۹۳۰۴	۰/۹۰۰۲	۰/۸۸۹۸	۰/۹۰۶۵	روش [۱۵]	FSIM
۰/۹۶۵۷	۰/۹۵۹۷	۰/۹۵۱۲	۰/۹۴۷۰	روش [۱۸]	
۰/۵۵۸۶	۰/۵۶۲۹	۰/۵۵۳۱	۰/۵۴۷۴	روش [۳۰]	
۰/۹۶۷۰	۰/۹۶۲۷	۰/۹۵۹۰	۰/۹۶۰۱	روش پیشنهادی	
۰/۴۷۸۳	۰/۳۰۳۳	۰/۹۲۵۷	۰/۴۴۰۳	روش [۱۵]	FOM
۰/۷۸۶۷	۰/۷۲۱۶	۰/۷۰۷۴	۰/۷۴۹۷	روش [۱۸]	
۰/۳۳۴۱	۰/۴۸۶۳	۰/۵۰۵۱	۰/۳۰۵۱	روش [۳۰]	
۰/۸۲۴۹	۰/۷۹۸۱	۰/۷۷۲۵	۰/۸۲۴۹	روش پیشنهادی	
۰/۹۴۳۶	۰/۹۰۶۸	۰/۹۲۱۴	۰/۹۱۱۱	روش [۱۵]	MSER-SSIM
۰/۹۵۵۳	۰/۹۴۹۸	۰/۹۴۶۹	۰/۹۳۰۱	روش [۱۸]	
۰/۸۱۹۴	۰/۸۰۷۲	۰/۸۳۲۰	۰/۸۰۲۰	روش [۳۰]	
۰/۹۵۶۵	۰/۹۵۹۸	۰/۹۵۴۱	۰/۹۵۸۱	روش پیشنهادی	

جدول ۲: مقایسه کمی روش پیشنهادی با مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] در حذف نویز گوسی تصاویر پایگاه داده CSIQ

سطح نویز ۵	سطح نویز ۴	سطح نویز ۳	سطح نویز ۲	سطح نویز ۱		
۳۲/۴۳۶۸	۳۲/۴۶۴۵	۳۲/۴۸۲۷	۳۲/۴۹۸۶	۳۲/۵۱۲۷	روش [۱۵]	میانگین PSNR
۳۲/۰۵۹۳	۳۲/۳۲۹۸	۲۹/۴۵۱۷	۳۲/۴۹۶۰	۳۳/۳۱۵۳	روش [۱۸]	
۲۸/۲۱۰۸	۲۸/۲۲۸۴	۲۸/۲۵۰۵	۲۸/۲۹۰۵	۲۸/۳۸۳۲	روش [۳۰]	
۳۲/۰۰۱۶	۳۲/۳۶۹۳	۳۲/۷۶۸۲	۳۳/۲۱۷۹	۳۳/۷۲۹۹	روش پیشنهادی	
۰/۶۶۸۶	۰/۶۷۰۲	۰/۶۷۲۰	۰/۶۷۴۶	۰/۶۷۸۸	روش [۱۵]	میانگین SSIM
۰/۶۶۹۷	۰/۶۹۰۷	۰/۷۱۳۴	۰/۷۳۸۵	۰/۷۶۵۰	روش [۱۸]	
۰/۰۷۶۵	۰/۰۸۱۴	۰/۰۸۷۹	۰/۰۹۷۰	۰/۱۱۳۷	روش [۳۰]	

۰/۶۹۳۹	۰/۷۲۱۱	۰/۷۴۹۱	۰/۷۷۷۹	۰/۸۰۸۵	روش پیشنهادی	میانگین FSIM
۰/۸۹۶۵	۰/۸۹۶۱	۰/۸۹۵۶	۰/۸۹۵۱	۰/۸۹۴۴	روش [۱۵]	
۰/۹۲۱۵	۰/۹۲۸۳	۰/۹۳۵۳	۰/۹۴۲۷	۰/۹۵۰۱	روش [۱۸]	
۰/۵۷۱۳	۰/۵۷۰۴	۰/۵۶۸۸	۰/۶۵۶۲	۰/۵۶۲۴	روش [۳۰]	میانگین FOM
۰/۹۲۵۹	۰/۹۳۳۹	۰/۹۴۲۲	۰/۹۵۰۸	۰/۹۵۹۹	روش پیشنهادی	
۰/۵۰۴۹	۰/۵۰۰۱	۰/۴۹۴۷	۰/۴۹۰۲	۰/۴۸۶۰	روش [۱۵]	
۰/۷۱۵۱	۰/۷۲۵۰	۰/۷۳۴۷	۰/۷۳۹۱	۰/۷۳۹۵	روش [۱۸]	میانگین MSER-SSIM
۰/۴۲۱۳	۰/۴۱۶۶	۰/۴۱۱۷	۰/۴۰۸۶	۰/۴۰۰۴	روش [۳۰]	
۰/۷۷۶۰	۰/۷۸۴۹	۰/۷۹۴۷	۰/۸۰۱۰	۰/۸۰۵۹	روش پیشنهادی	
۰/۹۱۵۶	۰/۹۱۵۷	۰/۹۱۵۵	۰/۹۱۵۹	۰/۹۱۶۴	روش [۱۵]	میانگین MSER-SSIM
۰/۹۲۱۲	۰/۹۲۷۳	۰/۹۳۲۹	۰/۹۳۸۸	۰/۹۴۳۸	روش [۱۸]	
۰/۶۶۱۳	۰/۶۸۱۵	۰/۷۰۱۷	۰/۷۲۰۷	۰/۷۳۷۹	روش [۳۰]	
۰/۹۲۷۴	۰/۹۳۵۵	۰/۹۴۱۲	۰/۹۴۸۱	۰/۹۵۳۳	روش پیشنهادی	

جدول ۳: مقایسه کمی روش پیشنهادی با مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] در حذف نویز گوسی تصاویر خاکستری پایگاه داده IVC

سطح نویز ۵	سطح نویز ۴	سطح نویز ۳	سطح نویز ۲	سطح نویز ۱	روش	
۳۲/۲۵۸۷	۳۲/۲۷۴۶	۳۲/۲۷۵۴	۳۲/۲۹۵۱	۳۲/۳۰۶۳	روش [۱۵]	میانگین PSNR
۳۱/۷۹۶۹	۳۲/۰۴۹۱	۲۹/۳۵۱۱	۳۲/۶۴۳۴	۳۳/۰۰۱۸	روش [۱۸]	
۲۸/۰۷۹۰	۲۸/۱۲۳۸	۲۸/۱۸۰۴	۲۸/۲۷۹۹	۲۸/۴۶۸۶	روش [۳۰]	
۳۱/۸۰۱۷	۳۲/۱۴۲۵	۳۲/۵۲۳۸	۳۲/۹۶۰۸	۳۳/۴۹۹۱	روش پیشنهادی	میانگین SSIM
۰/۶۶۴۸	۰/۶۶۵۷	۰/۶۶۶۲	۰/۶۶۷۲	۰/۶۸۸۵	روش [۱۵]	
۰/۶۶۲۱	۰/۶۸۲۴	۰/۷۰۵۵	۰/۷۲۹۵	۰/۷۵۵۴	روش [۱۸]	
۰/۰۸۴۰	۰/۰۹۲۱	۰/۱۰۳۲	۰/۱۱۹۳	۰/۱۴۷۶	روش [۳۰]	میانگین FSIM
۰/۶۹۷۰	۰/۷۲۳۵	۰/۷۵۲۵	۰/۷۷۹۷	۰/۸۰۹۳	روش پیشنهادی	
۰/۸۹۴۵	۰/۸۹۴۴	۰/۸۹۳۷	۰/۸۹۳۳	۰/۸۹۲۵	روش [۱۵]	
۰/۹۱۹۵	۰/۹۲۶۴	۰/۹۳۳۲	۰/۹۴۰۵	۰/۹۴۸۰	روش [۱۸]	میانگین FOM
۰/۶۱۱۹	۰/۶۱۳۸	۰/۶۱۵۰	۰/۶۱۶۲	۰/۶۱۵۳	روش [۳۰]	
۰/۹۲۴۵	۰/۹۳۲۸	۰/۹۴۰۹	۰/۹۴۹۲	۰/۹۵۸۴	روش پیشنهادی	
۰/۴۹۸۰	۰/۴۹۲۵	۰/۴۸۷۹	۰/۴۸۳۰	۰/۴۹۹۴	روش [۱۵]	میانگین MSER-SSIM
۰/۶۹۵۹	۰/۷۱۰۷	۰/۷۲۳۹	۰/۷۳۳۸	۰/۷۳۶۹	روش [۱۸]	
۰/۴۶۹۴	۰/۴۶۱۵	۰/۴۵۲۹	۰/۴۴۴۱	۰/۴۳۷۱	روش [۳۰]	
۰/۷۵۶۰	۰/۷۷۰۶	۰/۷۸۸۲	۰/۷۹۵۶	۰/۸۰۹۸	روش پیشنهادی	میانگین MSER-SSIM
۰/۹۱۶۵	۰/۹۱۶۳	۰/۹۱۶۱	۰/۹۱۶۲	۰/۹۱۶۲	روش [۱۵]	
۰/۹۱۸۹	۰/۹۲۵۲	۰/۹۳۱۳	۰/۹۳۷۳	۰/۹۴۲۳	روش [۱۸]	
۰/۴۷۶۴	۰/۵۳۱۴	۰/۵۹۱۴	۰/۶۶۰۱	۰/۷۳۳۶	روش [۳۰]	روش پیشنهادی
۰/۹۲۹۸	۰/۹۳۷۷	۰/۹۴۱۸	۰/۹۴۸۶	۰/۹۵۴۲		

جدول ۴: مقایسه کمی روش پیشنهادی با مراجع [۱۵]، [۱۸] و [۳۰] در حذف نویز گوسی تصاویر رنگی پایگاه داده IVC

سطح نویز ۵	سطح نویز ۴	سطح نویز ۳	سطح نویز ۲	سطح نویز ۱	روش	
۳۳/۰۴۶۴	۳۳/۰۴۶۴	۳۳/۰۴۰۴	۳۳/۰۲۳۶	۳۳/۰۰۷۷	روش [۱۵]	میانگین PSNR
۳۳/۷۰۹۹	۳۳/۹۹۸۰	۳۲/۸۶۲۸	۳۴/۶۳۷۸	۳۴/۹۹۹۱	روش [۱۸]	
۲۸/۲۵۶۱	۲۸/۳۰۸۳	۲۸/۳۸۵۴	۲۸/۲۴۲۱	۲۸/۸۴۲۱	روش [۳۰]	
۳۳/۹۸۶۵	۳۴/۴۱۵۱	۳۴/۸۴۸۴	۳۵/۳۳۷۸	۳۵/۸۶۵۹	روش پیشنهادی	میانگین SSIM
۰/۷۲۰۰	۰/۷۱۸۵	۰/۷۱۶۳	۰/۷۱۴۶	۰/۷۱۲۵	روش [۱۵]	
۰/۷۵۳۶	۰/۷۶۹۵	۰/۷۸۵۳	۰/۸۰۱۵	۰/۸۱۷۲	روش [۱۸]	
۰/۱۱۶۵	۰/۱۲۵۵	۰/۱۳۶۸	۰/۱۲۳۳	۰/۱۶۵۷	روش [۳۰]	

۰/۷۹۱۱	۰/۸۱۰۷	۰/۸۹۲۵	۰/۸۴۸۴	۰/۸۶۵۹	روش پیشنهادی	میانگین FSIM
۰/۹۰۹۰	۰/۹۰۷۵	۰/۹۰۶۱	۰/۹۰۴۶	۰/۹۰۳۰	روش [۱۵]	
۰/۹۵۰۵	۰/۹۵۴۸	۰/۹۵۹۰	۰/۹۶۳۳	۰/۹۶۷۲	روش [۱۸]	
۰/۶۱۶۰	۰/۶۱۶۱	۰/۶۱۵۱	۰/۶۰۸۹	۰/۶۰۶۱	روش [۳۰]	
۰/۹۵۶۷	۰/۹۶۱۴	۰/۹۶۶۶	۰/۹۷۱۵	۰/۹۷۶۱	روش پیشنهادی	میانگین FOM
۰/۴۹۹۲	۰/۴۹۴۰	۰/۴۸۶۷	۰/۷۸۰۸	۰/۴۷۴۸	روش [۱۵]	
۰/۷۶۷۴	۰/۷۶۹۲	۰/۷۶۸۷	۰/۷۷۲۶	۰/۷۷۵۴	روش [۱۸]	
۰/۴۴۴۸	۰/۴۴۰۸	۰/۴۳۸۶	۰/۴۵۰۵	۰/۴۶۶۰	روش [۳۰]	
۰/۸۳۱۸	۰/۸۳۱۴	۰/۸۲۹۴	۰/۸۳۲۵	۰/۸۳۳۲	روش پیشنهادی	میانگین MSER-SSIM
۰/۹۲۷۶	۰/۹۲۶۸	۰/۹۲۶۲	۰/۹۲۵۶	۰/۹۲۵۲	روش [۱۵]	
۰/۹۴۳۵	۰/۹۴۶۷	۰/۹۴۹۷	۰/۹۵۲۳	۰/۹۵۴۹	روش [۱۸]	
۰/۶۵۱۶	۰/۶۸۰۰	۰/۷۱۱۸	۰/۶۴۹۲	۰/۷۰۲۵	روش [۳۰]	
۰/۹۵۱۱	۰/۹۵۶۳	۰/۹۶۰۱	۰/۹۶۳۶	۰/۹۶۶۶	روش پیشنهادی	

ابتدا تصویر به دو ناحیه هموار و متراکم قطعه‌بندی می‌شود، سپس هر یک از دو ناحیه با فیلتر انتشار غیرهمگن با شدت متفاوت حذف نویز می‌شوند. نتایج ارائه شده در این تحقیق نشان می‌دهد که این روش، ضمن حفظ کیفیت بصری تصویر، عملکرد خوبی در حذف نویز دارد.

مراجع

- [1] B. Ajay Kumar, B. Kumar Joshi. "A review paper: noise models in digital image processing", Signal & Image Processing : An International Journal (SIPIJ), Vol.6, No.2, 2015.
- [2] W. Jifara, F. Jiang, S. Rho, M. Cheng, S. Liu, "Medical image denoising using convolutional neural network: a residual learning approach", The Journal of Supercomputing, pp. 1-15, 2017.
- [3] T. N. Tilak , S. Krishnakumar, "Orthogonal Compactly Supported Near-Symmetric Wavelets in Denoising Satellite Images", Indian Journal of Science and Technology 10, Vol. 14, 2017.
- [4] S. Niu, et al, "Robust noise region-based active contour model via local similarity factor for image segmentation", Pattern Recognition, Vol. 61, pp. 104-119, 2017.
- [5] J. Portilla , et al, "Adaptive Wiener denoising using a Gaussian scale mixture model in the wavelet domain", International Conference on Image Processing, pp. 7-10, 2001.
- [6] S. Zhang , M.A. Karim, "A new impulse detector for switching median filters", IEEE Signal Processing Letters, Vol. 9, No. 11, pp. 360 – 363, 2012.
- [7] P. Perona, J. Malik, "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion", IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence 12, Vol. 12, No. 7, pp. 629-639, 1990.
- [8] S.G. Chang , B. Yu, M. Vetterli, "Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression", IEEE Transactions on Image Processing , Vol. 9, No. 9, pp. 1532 – 1546, 2000.
- [9] K. Dabov, et al, "Image Denoising by Sparse 3-D Transform-Domain Collaborative Filtering", IEEE Transactions on Image Processing , Vol.16, No. 8, pp. 2080 – 2095, 2007.
- [10] C.A. Palma, et al, "Anisotropic diffusion filtering operation and limitations-magnetic resonance imaging evaluation". IFAC Proceedings Volumes, 47(3), pp.3887-3892, 2014.
- [11] B. Goyal, A. Dogra, S. Agrawal, & B. S. Sohi, "A three stage integrated denoising approach for grey scale images". Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 1-16. 2018.
- [12] L.Zhang , Zh. Gu, H. Li, "SDSP: a novel saliency detection method by combining simple priors", IEEE international conference on image processing, pp. 171-175, 2013.
- [13] J. Sun, et al, "High-Level Multi-difference Cues for Image Saliency Detection", International Conference of Pioneering Computer Scientists, Engineers and Educators, pp 508-519, 2017.

نتایج ارزیابی کمی ارائه شده در جدول‌های ۱ تا ۴ نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با روشهای موجود، ضمن رفع نویز از تصویر، توانسته کیفیت آن را هم به خوبی حفظ کند. به عبارت دیگر، رفع نویز به کمک روش پیشنهادی، خرابی ناشی از فیلتر کردن را به خوبی کنترل می‌کند. همان‌طور که در جدول‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، هنگامی که سطح نویز افزایش می‌یابد، PSNR روش پیشنهادی در مقایسه با مراجع [۱۵] و [۱۸] کمتر شده است. این مسئله به خاطر این است که در روش پیشنهادی ما نویز موجود در نواحی با بافت متراکم تصویر را نسبت به ناحیه هموار کمتر رفع کردیم تا ایده اصلی روش پیشنهادی، کیفیت بصری تصویر، ضمن فرآیند حذف نویز حفظ شود. نتایج معیارهای ارزیابی کیفیت بصری تصویر شامل SSIM و MSER در جدول‌های ۱-۴ حفظ کیفیت بصری تصویر با روش پیشنهادی را به خوبی نشان می‌دهد. آزمایشات گزارش شده در این مقاله نشان می‌دهد که روش ارائه شده عملکرد فیلتر انتشار غیر همگن را در رفع نویز از تصویر بهبود می‌دهد. ایده اساسی این تحقیق آن است که با کنترل عملکرد فیلتر در نواحی با بافت‌های مختلف، خرابی ناشی از فیلتر کردن تقلیل یابد. با توجه به آن که محدودیتی در بکارگیری نوع فیلتر برای روش پیشنهادی وجود ندارد، می‌توان ادعا کرد که این روش قادر است عملکرد فیلترهای مختلف را در بهسازی تصویر بهبود بخشد.

۶- نتیجه‌گیری

وجود نویز در نواحی هموار و متراکم تصویر به یک میزان روی سیستم بینایی انسان تاثیرگذار نیستند. علاوه بر این، خرابی حاصل از حذف نویز، روی نواحی هموار و متراکم تصویر به یک اندازه نمی‌باشد. لذا در این مقاله روش جدیدی برای حذف نویز تصویر مبتنی بر سیستم بینایی انسان پیشنهاد شده است. در این روش

- [21] M. Muthukumaran, et al. "Anisotropic diffusion based denoising on X-radiography images to detect weld defects." *Digital Signal Processing* 68, pp. 112-126, 2017.
- [22] D. Lizhen, et al. "Hessian matrix-based fourth-order anisotropic diffusion filter for image denoising." *Optics & Laser Technology* 110, pp. 184-190, 2013.
- [23] J. V. Manjón, et al. "Diffusion weighted image denoising using overcomplete local PCA", No. 9, e73021, 2013.
- [24] H. Hassanpour, et al, "Pixon-Based Image Segmentation, Image Segmentation", Pei-Gee Ho (Ed.), 2011.
- [25] U. Erkan, Levent Gökrem, and Serdar Enginoğlu. "Different applied median filter in salt and pepper noise." *Computers & Electrical Engineering* 70, pp. 789-798, 2018.
- [26] Z. Wang, et al, "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity", *IEEE transactions on image processing*, Vol. 13, pp. 600-612, 2004.
- [27] Y. J. Zhang. "A survey on evaluation methods for image segmentation". *Pattern recognition*, Vol. 29, pp. 1335-1346, 1996.
- [28] L. Zhang, L.Zhang, X. Mou, D. Zhang. "FSIM: a feature similarity index for image quality assessment". *IEEE transactions on Image Processing*, Vol. 20, pp. 2378-2386, 2011.
- [29] M. H. Khosravi, & H. Hassanpour. "A novel image structural similarity index considering image content detectability using maximally stable extremal region descriptor". *International Journal of Engineering-Transactions B: Applications*, pp. 172-181, 2017.
- [30] - , Neat Image Ver. 8.4, *ABSof, NeatLab*, <https://ni.neatvideo.com/home>.
- [۱۴] حمید حسن‌پور، سکینه اسدی امیری، "مفاهیم جامع پردازش تصویر دیجیتال به همراه پیاده‌سازی الگوریتم‌ها با Matlab"، دانشگاه صنعتی شاهرود، چاپ اول، ۱۳۹۴.
- [15] E. Nadernejad, H. Hassanpour, H. MiarNaimi, "Image Restoration using a PDE-based Approach", *IJE Transactions B*, Vol. 20, No.3, pp. 225-236, 2007.
- [۱۶] حمید حسن‌پور، محسن نیک‌پور، "استفاده از ضریب انتشار تطبیقی برای حذف نویز تصاویر با استفاده از معادلات مشتقات جزئی"، *نشریه مهندسی برق و کامپیوتر ایران*، جلد ۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۸۷.
- [17] M. Nikpour, H. Hassanpour, "Using diffusion equations for improving performance of wavelet-based image denoising techniques", *IET Image Processing*, Vol. 4, pp. 452-462, 2009.
- [18] M. H. Khosravi, H. Hassanpour, "Image Denoising Using Anisotropic Diffusion Equations on Reflection and Illumination Components of Image", *IJE TRANSACTIONS C: Aspects* Vol. 27, No. 9, pp. 1339-1348, 2014.
- [19] Ch. N. Fan, F. Y. Zhang, "Homomorphic filtering based illumination normalization method for face recognition", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 32, pp. 1468-1479, 2011.
- [20] Yi. Liu, et al. "An improved nonlinear diffusion in Laplacian pyramid domain for cone beam CT denoising during image-guided vascular intervention." *BMC medical imaging* 18.1, pp. 18-25, 2018.

پاورقی‌ها:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1 Convolution | 14 Entropy measure |
| 2 Wiener filter | 15 Subjective |
| 3 Median filter | 16 Objective |
| 4 Diffusion filter | 17 Peak Signal-to Noise Ratio |
| 5 Wavelet | 18 Structural Similarity Index Measure |
| 6 Isotropic | 19 Feature Similarity |
| 7 Anisotropic | 20 Figure of Merit |
| 8 Illumination | 21 Maximally Stable Extremal Region-SSIM |
| 9 Reflectance | 22 Phase Congruency |
| 10 Hessian matrix | 23 Gradient Magnitude |
| 11 Local Principal Component Analysis | 24 Seed point |
| 12 Pixon | 25 Global Smoothness |
| 13 Fuzzy C-Means | 26 Local Smoothness |