توسعهٔ روش‌های مبتنی بر رفع نوفهٔ اسپکل تصویر جهت رفع نوفهٔ ویدئو ویسار

زهرا عابدی و مهدی یزدیان دهکردی*

دانشکده مهندسی کامپیوتر، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

رادارهای سار (SAR) یکی از ابزارهای تصویربرداری در شرایط مختلف آب و هوایی در کاربردهای نقشه‌برداری، نظامی، منابع زمینی و عمرانی هستند. در سال‌های اخیر یک رادار جدید، جهت ثبت ویدئوی اشیا در حالت حرکت با توسعه رادارهای سار به نام ویدئوسار یا به‌اختصار ویسار (ViSAR) برای نظارت محیطی ارائه شده است. مانند تصاویر سار، یکی از چالش‌های اساسی در داده ویسار نیز وجود نوفه اسپکل است. در این مقاله با سفارشی‌سازی روش‌های رفع نوفه تصویر برای رفع نوفه ویدئوی ویسار، سه رویکرد مختلف شامل "فریم‌به‌فریم "، "میانگین‌گیری" و "سه بعدی" ارائه و ارزیابی شده است. در رویکرد نخست، بدون توجه به بُعد زمان هر فریم از ویدئو به‌صورت مجزا رفع نوفه شده و در رویکرد دوم، از میانگین‌گیری فریم‌های رفع نوفه‌شده در بُعد زمان استفاده شده است. در رویکرد سه‌بعدی، از بلاک‌های سه‌بعدی در بُعد مکان و زمان برای رفع نوفه در ویدئو استفاده شده است؛علاوه‌براین رویکردها، راه‌کار جدیدی با نام Incremental BM3D ViSAR یا به اختصار ViSAR-IBM3D با توسعه روش مشهور رفع نوفه تصویر SAR-BM3D نیز ارائه شده که توانسته است با تغیر ساختار این روش برای ویدئو، زمان اجرای کمتر و حفظ جزئیات بهتری را به همراه آورد. روش SAR-BM3D در گام نخست در فضای موجک تخمین اولیه از تصویر بدون نوفه را محاسبه کرده و سپس در گام دوم به‌کمک تصویر نوفه‌ای و تخمین اولیه، تصویر رفع نوفه شده نهایی را تخمین می‌زند. در روش ViSAR-IBM3D با بهره‌گیری از همبستگی بین فریم‌های متوالی ویدئو، از نتیجه فریم قبلی برای رفع نوفه فریم جاری استفاده شده تا بتوان علاوه‌بر حفظ جزئیات و تمایز تصاویر، زمان اجرای الگوریتم را نیز بهبود بخشید. نتایج به‌دست‌آمده بر روی ویدئو با نوفه شبیه‌سازی و همچنین ویدئوی واقعی ویسار، کارایی رویکرد سه‌بعدی پیشنهادی نسبت با سایر رویکردها و همچنین کارایی بالاتر روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D نسبت به روش‌های قبلی را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: رفع نوفه اسپکل، سار، ویدئو ویسار، SAR-BM3D، ViSAR-IBM3D

Extending SAR Image Despckling methods for ViSAR Denoising

Zahra Abedi & Mahdi Yazdian-Dehkordi*

Computer Engeenring Department, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

Synthetic Aperture Radar (SAR) is widely used in different weather conditions for various applications such as mapping, remote sensing, urban, civil, and military monitoring. Recently, a new radar sensor called Video SAR (ViSAR) has been developed to capture sequential frames from moving objects for environmental monitoring applications such as image or video segmentation, classification and change detection. Same as SAR images, the major problem of ViSAR is the presence of speckle noise. In this paper, the performance of several image-based denoising methods is studied for de-speckling of ViSAR frames through "Frame-by-Frame", "Averaging" and "3D" schemes. In "Frame-by-Frame" scheme, each video frame is denoised independently of the other frames; whereas, in "Averaging" scheme, the

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۴/۱۳ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۵ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

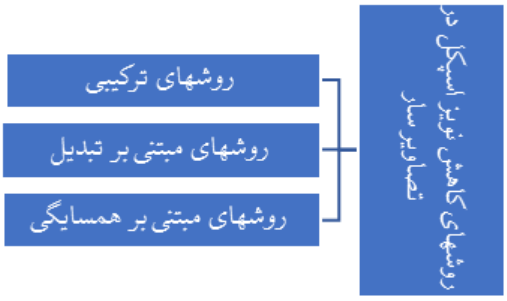
denoised images are averaged along a time window. In "3D" scheme, denoising is performed on 3D blocks in space-time (x-y-t) domain. In addition to these schemes, a novel extension on SAR-BM3D method, called ViSAR Incremental BM3D (ViSAR-IBM3D) approach is proposed for video denoising. The SAR-BM3D method performs denoising in two steps. At the first step, it uses wavelet denoising to primitively denoise the original image; in the next step, this image in combination with the original image are used to estimate the final denoised image. The main challenge of SAR-BM3D method is high time complexity especially for video frames. Here, in ViSAR-IBM3D, we benefit from the correlation between the frames of video and utilize the denoised images in previous frame to de-speckle the current frame. The proposed method can remarkably reduce the time complexity and improve preserving the details and the contrast of the denoised frames. The experimental results evaluated on real-world ViSAR video as well as video with simulated noises show that the proposed 3D filtering scheme and the proposed ViSAR-IBM3D method achieve better denoising performance than the other ones.

Keywords: SAR, ViSAR, Noise, Speckle, SAR-BM3D, ViSAR-IBM3D

۱- مقدمه

عکس‌برداری با وضوح بالا در تمام شرایط آب و هوایی نیاز بسیاری از کاربردها مانند نظارت محیطی، سنجش‌ازدور، کاربردهای نظامی، نقشه‌برداری از منابع زمینی و غیره است. رادارهای روزنه مصنوعی (سار)، چنین قابلیت‌هایی را فراهم می‌کنند [1]. محدودیت رادارهای سار در ثبت تصاویر با وضوح بالا از اجسام در حال حرکت در شرایط نا مساعد آب و هوایی است که موجب ساخت رادار ویدئویی جدیدی به اسم ویدئو سار (ویسار) شده است [2]. ویسار نوعی سار ویدئویی است که توانایی ثبت ویدئوهای با وضوح بالا در تمام شرایط آب و هوایی را دارد [2]. یکی از مهم‌ترین چالش رادارهای ویسار، وجود نوفه اسپکل است که به علت نوسانات فاز سیگنال بازگشتی امواج الکترومغناطیسی به‌صورت زائده‌های نقطه‌ای در تصویر سار ایجادشده و وضوح تصویر را کاهش می‌دهد [1]. پژوهش های زیادی جهت کاهش نوفه تصاویر سار صورت گرفته اما ازآنجایی‌که ویسار داده‌ای جدید است تا آن‌جایی که ما می‌دانیم هنوز پژوهشی جهت کاهش نوفه در این ویدئو صورت نگرفته و بیشتر پژوهش‌ها روی این داده در حوزه ساخت و بهبود رادار در این ویدئو بوده است [3] و [4]. علاوه‌بر پژوهش‌های زیادی که بر روی کاهش نوفه اسپکل تصاویر سار صورت گرفته، پژوهش‌های زیادی نیز در حوزه های مختلفی مانند قطعه‌بندی، دسته‌بندی [5] و تشخیص تغییرات ریز[1] [6] و [7] انجام شده است. در همه این پژوهش‌ها به اهمیت کاهش نوفه اسپکل به‌عنوان پیش پردازش حیاتی اشاره شده است. کاهش نوفه اسپکل در ویسار نیز پیش‌پردازش حیاتی برای کاربردهای این داده است.

با توجه به شباهت داده‌های سار و ویسار، مطالعه و بررسی روش‌های کاهش نوفه داده سار بر روی داده ویسار، گام مهمی برای بررسی چالش‌های این داده جدید و شروع پژوهش‌های کاربردی روی این داده است. به‌طور کلی الگوریتم‌های کاهش نوفه را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد.



(شکل-۱): دسته‌بندی کلی روش‌های کاهش نوفه اسپکل در تصاویر سار

(Figure-1): SAR image despeckling methods

دسته نخست روش‌ها، عملیات تخمین سیگنال بدون نوفه را برروی همسایگی یک پیکسل در تصویر اصلی[2] و دسته دوم تخمین سیگنال بدون نوفه را برروی تبدیلی[3] از تصویر انجام می‌دهند. دسته سوم، به نوعی ترکیبی دو دسته فوق بوده و از همسایگی پیکسل در حوزه تبدیل استفاده می‌کنند.

در دسته نخست از همسایگی محلی یا غیر محلی یک پیکسل در تصویر اصلی برای کاهش نوفه استفاده می‌شود. از جمله روش‌های این حوزه می‌توان به رویکردهای مانند فیلتر وینر تطبیق‌پذیر [8]، فراست [9]، لی [10] و کوان [11] اشاره کرد. ماهیت تمام این روش‌ها به‌روزرسانی مقدار هر پیکسل با توجه به ترکیبی خطی بین پیکسل موردنظر و همسایگی‌های محلی آن پیکسل

[1] Change Detection

[2] Spatial Domain

[3] Transform

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

است. فیلتر فراست یک نوع تطبیق‌پذیر را با استفاده از یک پنجره گوسی در همسایگی هر پیکسل ارائه می‌کند [9]. فیلتر کوان نیز از همسایگی محلی و مبتنی بر معیار کمینه میانگین مربعات خطا برای رفع نوفه استفاده می‌کند [11]. به خاطر ماهیت بلاکی بودن[1] این روش‌ها هزینه محاسبات، مشکل مشترک آن‌ها است. در پژوهش‌های مختلف این روش‌ها به‌عنوان مبنا برای مقایسه نتایج روش‌های نوین مورد استفاده قرار می‌گیرند [12] و [13] در دسته دوم یعنی روش‌های مبتنی بر تبدیل، تبدیل‌های مختلفی مانند تبد یل موجک[2] [14, 15, 16, 17] ، فرکانس و PCA[3] [18] استفاده شد. برای مثال در سال ۲۰۰۵ آقای Selesnick و همکاران [14] از تبدیل DTCWT[4] که زیرمجموعه‌ای از تبدیل موجک مختلط[5] است، جهت رفع نوفه اسپکل در تصاویر سار استفاده کرده‌اند. در سال ۲۰۰۸ آقای Mastriani و همکاران [15]، ابتدا تصویر آغشته به نوفه اسپکل را به زیرباندهای موجک، تجزیه کرده، سپس با اعمال فیلتر کالمن بر روی زیر باندهای سطح بالا و انجام عمل عکس تبدیل موجک تصویر بدون نوفه را تخمین زده‌اند. در بیشتر روش‌های مبتنی بر تبدیل موجک از آستانه‌گذاری ضرایب موجک جهت کاهش نوفه اسپکل استفاده شده است [16]. چالش اصلی این روش‌ها تعیین مقدار حد آستانه مناسب است. در سال ۲۰۰۹ آقای نصری و همکاران [16] از شبکه عصبی برای تخمین مقدار حد آستانه استفاده کرده‌اند. علاوه‌بر تبدیل موجک، در برخی پژوهش‌ها از تبدیل شیرلت[6] [12] نیز برای کاهش نوفه اسپکل در تصویر استفاده شده است.

در دسته سوم، که به نوعی ترکیبی از دو دسته نخست هستند، ابتدا تصویر به حوزه دیگری مانند موجک منتقل شده و سپس عملیات پردازشی بر روی همسایگی محلی یا غیرمحلی از هر پیکسل انجام می‌شود. این دسته روش‌ها به‌دلیل این‌که از مزایای تبدیل و همچنین مزایای اطلاعات محلی کمک می‌گیرند، نتایج بهتری در جهت حذف نوفه اسپکل در تصاویر سار دارند، اما بلاکی‌بودن آن‌ها و همچنین لزوم انجام تبدیل زمان اجرای آن‌ها را بیشتر می‌کند.

الگوریتم POTDF[7] در مقاله [19] در دو گام اصلی رفع نوفه صورت می‌گیرد. در مرحله نخست، آرایه‌های مختلف از بلاک‌های مشابه، به‌کمک ssc[8] رفع نوفه می‌شوند. در مرحله دوم نیز آرایه‌هایی از بلاک‌های مشابه به کمک تبدیل موجک سخت، رفع نوفه می‌شوند.در مقاله [18]، از تبدیل PCA برای انتقال داده‌ها به فضای با بعد کمتر و سپس از روش خوشه‌بندی K-means جهت گروه بندی داده‌ها استفاده شده است. پس از این هر گروه داده با به کارگیری الگوریتم انقباض کمینه مربعات میانگین خطا (LLMSE Shrinkage) در فضای تبدیل رفع نوفه شده است. الگوریتم EWF[9] در مقاله [20] با تغییری در فیلتر وینر کلاسیک، برای رفع نوفه هر پیکسل از همسایگی محلی آن پیکسل استفاده شده است همین امر به بهبود فیلتر وینر کلاسیک، کمک کرده است هم‌چنین در این روش، از توابعی که مناسب برای اجرا در GPU هستند مانند تبدیل فوریه و ضرب ماتریس‌ها در جهت افزایش سرعت اجرای الگوریتم، استفاده شده است.

الگوریتم BM3D [21] به‌عنوان یک روش رفع نوفه سفید جمع شونده ارائه شد و توانست کارایی خوبی را نشان دهد. این روش عملیات کاهش نوفه را در دو گام اصلی انجام می‌دهد. در گام اول، به کمک تبدیل موجک و آستانه‌گذاری سخت[10] یک تخمین اولیه از سیگنال خام و در گام دوم به کمک فیلتر وینر، تخمین نهایی از سیگنال بدون نوفه را محاسبه می‌کند. در سال‌های اخیر روش BM3D برای رفع نوفه اسپکل در تصاویر سار توسعه داده شده است [13] و [22]. روش SAR-BM3D از یک معیار شباهت و یک روش رفع نوفه مبتنی بر توزیع آماری نوفه اسپکل در تصاویر سار برای سفارشی‌سازی روش BM3D استفاده کرده و توانسته است کارایی خوبی را در کاهش نوفه تصاویر سار به همراه داشته باشد.

در این مقاله ابتدا سعی شده است تا روش‌های کاهش نوفه اسپکل در تصاویر سار با سه رویکرد مختلف "فریم‌به‌فریم "، "میانگین‌گیری" و "سه‌بعدی" برای کاهش نوفه اسپکل در ویدئو ویسار سفارشی‌سازی شوند. نتایج اولیه سه رویکرد پیشنهادی صرفاً بر روی داده واقعی

[1] روش‌هایی که در آنها جهت پردازش هر پیکسل، بلاکی به مرکزیت آن پیکسل مورد پردازش قرار می‌گیرد.

[2] Wavelet Transform
[3] Principal Component Analysis
[4] Dual Tree Complex Wavelet
[5] Complex Wavelet Transform
[6] Shearlet

[7] Patch Ordering Transform-Domain Filtering
[8] Simultaneus Sparse Coding
[9] Enhanced Wiener Filtering
[10] Hard Thresholding

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

ویسار در کنفرانس اخیر [23] منتشر شده است. در مقاله فعلی نتایج به‌صورت کامل بر روی ویدئو واقعی و همچنین ویدئو شبیه‌سازی تحلیل و مقایسه شده است. در رویکرد فریم‌به‌فریم ، یک ویدئو به‌عنوان تعدادی فریم مستقل فرض شده و رفع نوفه به‌صورت مجزا روی هر فریم انجام می‌شود. در رویکرد میانگین‌گیری سعی شده است تا همسایگی مکانی و همچنین زمانی پیکسل‌ها در فریم‌های متوالی از ویدئو در کاهش نوفه لحاظ شود. در نهایت در رویکرد سه بعدی ویدئو به صورت یک داده سه‌بعدی در بعد مکان و زمان در نظر گرفته شده و رفع نوفه به‌صورت مستقیم روی بلاک‌های سه‌بعدی انجام می‌شود. کارایی رویکردهای پیشنهادشده بر روی الگوریتم‌های کوان، فراست، وینر و BM3D ارزیابی شده است؛ علاوه‌براین یک راه‌کار با عنوان ViSAR-IBM3D با توسعه روش SAR-BM3D جهت رفع نوفه ویدئو ویسار ارائه شده است. روش پیشنهادی با به خدمت گرفتن همبستگی بین فریم‌های متوالی در ویدئو، از نتیجه فریم قبلی برای رفع نوفه فریم جاری استفاده کرده و به این ترتیب نه‌تنها زمان اجرای الگوریتم را به صورت قابل توجه بهبود داده است، بلکه توانسته در حفظ جزئیات و تمایز تصویر نیز تا حدی بهتر عمل کند.

روش‌های ارائه‌شده بر روی داده‌ها با نوفه شبیه‌سازی و همچنین داده واقعی ارزیابی و تحلیل شده است. نتایج به‌دست‌آمده کارایی بهتر رویکرد سه‌بعدی نسبت به سایر رویکردها و بعد از آن کارایی بالاتر روش پیشنهاد ViSAR-IBM3D نسبت به سایر روش‌ها را نشان می‌دهد.

به‌اختصار موارد زیر را می‌توان به‌عنوان نوآوری و سهم علمی این مقاله برشمرد:

- بر اساس بررسی‌های ما، اولین پژوهش انجام‌شده برای رفع نوفه اسپکل در داده‌های ویدئوئی ویسار؛
- به‌کارگیری روش‌های رفع نوفه تصویر دوبعدی (مکانی) برای رفع نوفه ویدئو ویسار سه‌بعدی (مکانی-زمانی) با رویکرد "فریم‌به‌فریم " (مشابه تصویر بدون توجه به بُعد زمان)؛ همچنین سفارشی‌سازی سه روش کلاسیک رفع نوفه کوان، فراست و وینر با دو رویکرد "میانگین‌گیری" و "سه بعدی" برای دخیل‌کردن بُعد زمان در فرآیند رفع نوفه ویدئو؛
- ارائه روش Incremental BM3D با تغییر ساختار روش مشهور رفع نوفه تصویر SAR-BM3D برای ویدئو و به‌همراه داشتن کاهش زمان اجرا و حفظ جزئیات بهتر با بهره‌گیری از همبستگی بین فریم‌های متوالی ویدئو و استفاده از نتیجه فریم قبلی برای رفع نوفه فریم جاری؛
- ارزیابی و تحلیل نتایج روش‌ها بر روی ویدئو با نوفه شبیه‌سازی و همچنین ویدئو واقعی ویسار با معیارها مختلف.

ادامه مطالب مقاله به‌صورت زیر است. در بخش ۲ فیلترهای استفاده‌شده در سه رویکرد پیشنهادی توضیح داده شده‌اند. در بخش ۳ روش پیشنهادی، در بخش ۴ نتایج و تحلیل آزمایش‌ها آورده شده و در بخش نهایی نتیجه‌گیری بیان شده است.

۲- پس‌زمینه

در این بخش به بررسی مختصر از روش‌های استفاده‌شده در این مقاله می‌پردازیم.

۲-۱- فیلتر کوان

این فیلتر، بر اساس معیار کمینه میانگین مربعات خطا، عمل می‌کند [11]. تخمین کمینه میانگین مربعات خطا ابتدا برای مدل نوفه جمع‌شونده ارائه‌شده بود و بعد از آن با استفاده از یک تغییر متغیر این فیلتر برای نوفه اسپکل نیز ارائه شد [24]. درصورتی‌که z: تصویر نوفهی، x: تصویر بدون نوفه و $\bar{z}$: میانگین z باشند، تخمین تصویر بدون نوفه $(\hat{x})$ از رابطه زیر به‌دست خواهد آمد:

$$\hat{x} = \bar{z} + \frac{\sigma_x^2(z-\bar{z})}{\sigma_x^2+(\bar{z}^2+\sigma_x^2)/L} \quad (۱)$$

که در این رابطه L و σ_x^2 به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$L = \frac{\bar{z}^2}{\sigma_z^2} \quad (۲)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{L\sigma_z^2 - \bar{z}^2}{L+1} \quad (۳)$$

و میانگین تصویر نوفه‌ای و واریانس آن به ترتیب با $\bar{z}$ و σ_z^2 نشان داده شده است.

۲-۲- فیلتر وینر تطبیق‌پذیر

فیلتر وینر، یک فیلتر خطی‌مستقل از زمان است که در پردازش سیگنال بسیار پرکاربرد می‌باشد. این فیلتر بر اساس کمینه بهینه مربعات خطای خطی عمل می‌کند [8]. تخمین تصویر بدون نوفه به‌کمک فیلتر وینر به‌صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$\hat{x} = \bar{x} + \frac{\sigma_x^2}{(\sigma_x^2+\sigma_v^2)}(z-\bar{x}) \quad (۴)$$

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

که در این رابطه σ_v^2 و σ_x^2 به‌ترتیب واریانس تصویر بدون نوفه و نوفه هستند. همچنین $\hat{x}(n)$ تخمین حاصل از فیلترکردن سیگنال $z(n)$ و $\bar{x}$ میانگین محلی x هستند. در این رابطه با فرض صفر بودن میانگین نوفه، $\bar{x}$ به کمک میانگین محلی z تخمین زده می‌شود. واریانس نوفه، در کل تصویر ثابت فرض می‌شود. از آنجا که نوفه اسپکل پس از تغییر متغیر به نوفه جمع‌شونده با سیگنال تبدیل می‌شود، واریانس سیگنال خام، از اختلاف واریانس نوفه و واریانس تصویر نوفه‌ای، تخمین زده می‌شود.

با توجه به رابطه (۴) در روش وینر تطبیق‌پذیر، نواحی یک‌نواخت تصویر به کمک میانگین‌گیری رفع نوفه شده اما نواحی شامل لبه دست نخورده باقی می‌مانند.

۲-۳- فیلتر فراست

فیلتر فراست نوعی فیلتر تطبیق‌پذیر است که از یک پنجره گوسی برای حذف نوفه استفاده می‌کند [9]. برای وزن‌دهی به پیکسل‌ها در پنجره گوسی، نسبت سیگنال به نوفه که از تقسیم میانگین به واریانس، حاصل می‌شود، در نظر گرفته شده است [9] و [25]. در این فیلتر، مقادیر پیکسل‌های داخل پنجره، با پاسخ ضربه نمایی m که از رابطه (۵) محاسبه می‌شود، کانوالو می‌شوند.

$$m'(t) = K_1 \alpha e^{-\alpha|t|} \qquad (۵)$$

که در این رابطه $m(t)$ پاسخ ضربه برای هر پیکسل t، k عددی ثابت و |t| فاصله پیکسل جاری از پیکسل مرکز پنجره را نشان می‌دهد و ضریب $\alpha = \frac{\sigma_{z'}}{z'}$ است.

۲-۳- الگوریتم SAR-BM3D

روش BM3D در ابتدا برای حذف نوفه جمع‌شونده ارائه شد [21] و سپس برای حذف نوفه اسپکل در تصاویر سار با عنوان SAR-BM3D توسعه یافت [13]. در روش BM3D عملیات کاهش نوفه در دو گام اصلی انجام می‌شود. در گام نخست، به‌کمک تخمین موجک و آستانه‌گذاری سخت یک تخمین اولیه از سیگنال خام (بدون نوفه) به‌دست آمده و سپس در گام دوم تخمین نهایی از سیگنال خام به‌کمک فیلتر وینر محاسبه می‌شود. در هر دو مرحله، عملیات کاهش نوفه هر بلاک با توجه به همسایگی غیرمحلی آن بلاک (بلاک‌های مشابه در تمام تصویر) انجام می‌گیرد [21].

به‌علت تفاوت توزیع آماری نوفه اسپکل در تصاویر سار نسبت به نوفه جمع‌شونده (BM3D)، در الگوریتم SAR-BM3D از معیار شباهت متفاوت و روش کاهش نوفه مبتنی بر فیلتر LLMMSE که فیلتر وینر تطبیق‌پذیر به جای آستانه‌گذاری سخت، در فضای تبدیل است استفاده شده است [13]. در این روش تخمین تصویر بدون نوفه در گام اول به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{X}_1(i) = max\left(0, \frac{\langle Z^2\rangle_{SB(i)} - \frac{\sigma_u^2}{1+\sigma_u^2}\langle Z^2\rangle_G}{\langle Z^2\rangle_{SB(i)}}\right) Z(i) \qquad (۶)$$

در این رابطه حروف بزرگ Z و $\hat{X}$ به ترتیب نشان‌دهنده تصویر نوفه‌ای z و تخمین تصویر بدون نوفه $\hat{x}$ در فضای تبدیل موجک هستند. همچنین $\langle Z\rangle_{SB(i)}$ و $\langle Z\rangle_G$ به‌ترتیب میانگین Z روی زیرباند i ام و کل بلاک‌های یک گروه را نشان می‌دهند. پارامتر σ_u^2 واریانس نوفه اسپکل است که مقدار آن بستگی به تعداد لوک تصویر دارد [26].

در گام دوم روش SAR-BM3D تخمین نهایی از تصویر بدون نوفه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{X}_2(i) = \frac{\hat{X}_1^2(i)}{\hat{X}_1^2(i)+\langle V^2\rangle_G} Z(i) \qquad (۷)$$

که در این رابطه $\langle V\rangle_G$ روی یک گروه از بلاک‌ها مانند G از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E[V^2(i)] = \langle v^2\rangle_G = \frac{1}{|G|}\sum_{i\in G}[Z(i) - \hat{x}_1(i)]^2 \qquad (۸)$$

۲-۴- الگوریتم POTDF

در این الگوریتم نیز روش کاهش نوفه در دو گام اصلی انجام می‌شود. در گام نخست به کمک روش SSC یک رفع نوفه اولیه برروی تصویر نوفه‌ای صورت گرفته و سپس در گام دوم برای بهبود الگوریتم کاهش نوفه، از آستانه‌گذاری سخت، استفاده شده است. در هر دو مرحله این الگوریتم نیز، عملیت کاهش نوفه هر بلاک با توجه به همسایگی غیر محلی آن بلاک، انجام می‌گیرد.

در مرحله نخست برای کاهش نوفه بلاک z_i معادله بهینه‌سازی زیر حل می‌شود:

$$\min_{\alpha^i}\|\alpha_i\|_0 \; s.t. \; \|z_i - D\alpha_i\|_2^2 \le \epsilon \qquad (۹)$$

در این معادله $D \in R^{n\times k}(k>n)$ لغت‌نامه، $\alpha_i \in R^k$ نمایش خلوت[1] بلاک z_i و ε، واریانس نوفه را نمایش می دهد [19].

[1] Sparse

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

۲-۵- الگوریتم EWF

این الگوریتم توسعه‌ای برروی الگوریتم وینر کلاسیک، در جهت افزایش سرعت اجرای وینر کلاسیک ارائه شده است. یک ضعف روش وینر کلاسیک، عدم توجه به همسایگی محلی یک پیکسل برای رفع نوفه آن پیکسل می‌باشد. در الگوریتم EWF با در نظر گرفتن همسایگی محلی هر پیکسل، این ضعف روش کلاسیک وینر برطرف شده است. فیلتر وینر در این الگوریتم به‌صورت زیر می‌باشد:

$$W' = \frac{P_{x'}}{P_{x'} + \bar{\alpha} . P_{n'}} \quad (۱۰)$$

در این معادله $\bar{\alpha} = \{\alpha_1, \ldots, \alpha_{max}\}$ بردار وزن می‌باشد. $\alpha_1 = 1$
که در این حالت، فیلتر وینر برابر با فیلتر وینر کلاسیک خواهد شد. $P_{x'}$ و $P_{n'}$ به‌ترتیب طیف توان[1] تصویر بدون نوفه و سیگنال نوفه می‌باشند. در این روش، برای هر پیکسل تعداد k، α و به عبارتی تعداد k فیلتر وینر در دسترس است. درالگوریتم رفع نوفه این مقاله، برای هر پیکسل بهترین مقدار α به‌صورت زیر محاسبه و برای رفع نوفه آن پیکسل استفاده می‌شود:

$$\alpha_{MAP} = 1 - \hat{\theta}_{MAP} \quad (۱۱)$$

$$\hat{\theta}_p = \sum_{q \in N_p} \frac{(x_p - x_q)^2}{9} \quad (۱۲)$$

که در معادله (۱۱)، $\hat{\theta}_{MAP}$ به‌کمک میدان تصادفی مارکوفی[2] با توجه به $\hat{\theta}_p$ محاسبه می‌شود. در معادله (۱۷)، x_p و x_q به‌ترتیب، پیکسل جاری و همسایه‌های این پیکسل هستند [20].

۳- الگوریتم‌های پیشنهادی

الگوریتم‌های کاهش نوفه اسپکل که در بخش قبل مرور گردید، برای رفع نوفه در داده‌های تصویری سار استفاده شده‌اند. تا جایی که ما می‌دانیم هنوز پژوهشی بر روی کاهش نوفه داده ویدئویی ویسار انجام نشده است. در اولین قدم برآنیم تا روش‌های کاهش نوفه داده‌های تصویری سار را برای کاهش نوفه داده ویدئویی ویسار سفارشی‌سازی کنیم. در این راستا سه رویکرد مختلف «فریم‌به‌فریم »، «میانگین‌گیری» و «سه‌بعدی» را پیشنهاد داده و بررسی خواهیم کرد که جزئیات آن در بخش ۳-۱ توضیح داده شده است.

در سال‌های اخیر الگوریتم SAR-BM3D [13] کارایی مناسبی را در کاهش نوفه اسپکل در تصاویر سار داشته است. در بخش ۳-۲ با توسعه روش SAR-BM3D برای ویدئو، رویکردی با نام ViSAR-IBM3Dبرای کاهش نوفه اسپکل در ویدئو ویسار خواهیم داد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی توانسته است با زمان اجرای بسیار کمتر از BM3D در حفظ جزئیات و وضوح تصویر در ویسار نیز بهتر عمل نماید.

۳-۱- سفارشی‌سازی الگوریتم‌های کاهش نوفه تصویری برای ویسار

در این بخش، سه رویکرد مختلف جهت سفارشی‌سازی روش‌های رفع نوفه تصویری سار برای داده ویدئویی ویسار بررسی خواهد شد.

۳-۱-۱- رویکرد فریم‌به‌فریم

از نظر محتوای داده‌ای یک ویدئو از تعدادی فریم تصویری پشت سر هم تشکیل شده است. به این ترتیب، اولین و ساده‌ترین راه‌کاری که جهت کاهش نوفه اسپکل در داده ویسار به ذهن می‌رسد، اعمال فیلترهای تصویر بر روی هر فریم ویدئو به‌صورت مجزا و بدون درنظرگرفتن همبستگی فریم‌ها در بُعد زمان است. این رویکرد با نام «رویکرد فریم‌به‌فریم » مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۱-۲- رویکرد میانگین‌گیری

یکی از رایج‌ترین و ساده‌ترین رویکردها برای کاهش نوفه در تصویر درنظرگرفتن همسایگی یک پیکسل در بعد مکان است. در ویدئو، پیکسل‌های تصویر علاوه‌بر همبستگی در بُعد مکان، در بعد زمان نیز دارای نوعی همبستگی هستند. در کاهش نوفه داده ویدئویی، این سوال مطرح می‌شود که چگونه می‌توان همبستگی زمانی بین پیکسل‌ها را در نظر گرفت؟ ساده‌ترین راهکاری که مشابه میانگین‌گیری تصویر به ذهن خطور می‌کند استفاده از میانگین‌گیری در همسایگی زمانی هر پیکسل است. در این جا رویکرد دیگری با نام «رویکرد میانگین‌گیری» بررسی می‌شود. در این رویکرد ابتدا هر فریم از تصویر به صورت مجزا رفع نوفه شده و سپس میانگین این فریم با k فریم همسایه آن در بُعد زمان، به‌عنوان تخمین نهایی برای این فریم محاسبه می‌شود.

۳-۱-۳- رویکرد سه‌بعدی

به‌طور ذاتی یک تصویر را می‌توان یک داده دوبُعدی (دارای همسایگی مکانی) و یک ویدئو را می‌توان یک داده سه‌بُعدی (دارای همسایگی مکانی و زمانی) در نظر گرفت. راه‌کار دیگری که برای کاهش نوفه در ویدئو بررسی شده،

[1] Power Spectrum
[2] Markovian Random Field Theory (MRF)

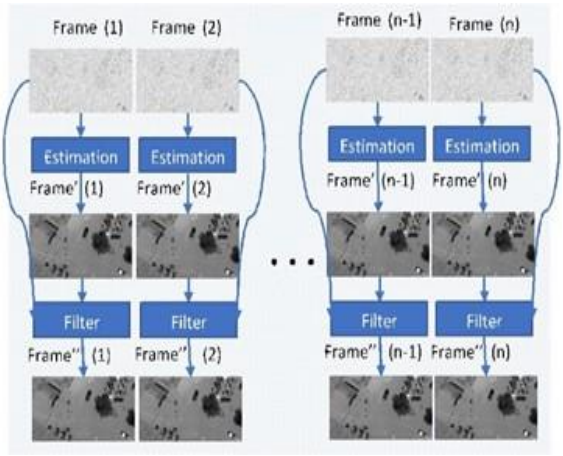
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

سفارشی‌سازی الگوریتم‌های دوبعدی تصویر برای داده سه‌بعدی ویدئو است. برای این منظور در روابط مربوط به فیلترهای قبل، به جای دخیل‌کردن یک همسایگی دو بعدی مکانی $(k \times k)$، از یک همسایگی سه‌بعدی مکانی-زمانی $(k \times k \times t)$ در ویدئو استفاده شده است؛ که t تعداد فریم‌های همسایه در بعد زمان و k تعداد پیکسل‌های همسایه در بعد مکان را نشان می‌دهند. در این رویکرد به جای این‌که از بلاک دوبعدی برای رفع نوفه استفاده شود، بلاک‌های سه بعدی با همسایگی مکانی-زمانی به‌عنوان ورودی الگوریتم‌ها در نظر گرفته شده است.

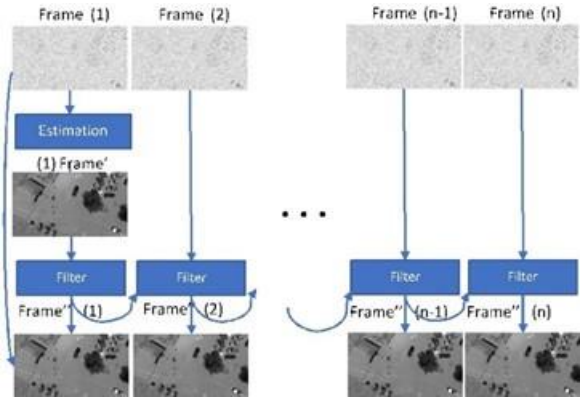
۲-۳- روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D برای ویسار

در بخش ۰ گفته شد که الگوریتم SAR-BM3D از دو گام اصلی تشکیل شده است. در گام نخست در فضای موجک تخمین اولیه از تصویر بدون نوفه را محاسبه کرده و سپس در گام دوم به کمک تصویر نوفه‌ای و تخمین اولیه، تصویر رفع نوفه‌شده نهایی را تخمین می‌زند. این روند در شکل (۲) نشان داده شده است.

اعمال مستقیم الگوریتم SAR-BM3D بر روی ویدئو ویسار بسیار زمان‌گیر است. از آن مهم‌تر اینکه اگر الگوریتم SAR-BM3D تخمین اولیه بهتری از تصویر بدون نوفه داشته باشد (گام اول رفع نوفه در شکل ۲)، تصویر نهایی بدون نوفه بهتری را تخمین خواهد زد (گام دوم رفع نوفه در شکل ۲). در این بخش الگوریتم ViSAR-IBM3D برای کاهش نوفه در داده ویسار پیشنهاد شده است. ایده اصلی این روش به کارگیری فریم(های) قبلی رفع نوفه شده در تصویر ویسار، برای کاهش نوفه فریم جاری است.



(شکل-۲): نحوه عملکرد روش SAR-BM3D
(Figure-2): Overview of SAR-BM3D method



(شکل-۳): نحوه عملکرد روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D
(Figure-3): Overview of proposed ViSAR-IBM3D method

چگونگی عملکرد روش پیشنهادی در شکل (۳) نشان داده شده است. به‌اختصار این روش به‌صورت زیر عمل می‌کند:

- ابتدا فریم نخست ویدئو با روش SAR-BM3D (با دو گام) رفع نوفه می‌شود؛
- سپس در فریم دوم، از فریم نخست به‌عنوان تخمین اولیه رفع نوفه فریم جاری استفاده شده و تنها گام دوم رفع نوفه در روش SAR-BM3D بر روی فریم دوم اعمال می‌شود؛
- به همین ترتیب برای فریم t ام، از فریم (t-1) ام به‌عنوان تخمین اولیه رفع نوفه شده از فریم جاری استفاده شده و صرفاً گام دوم رفع نوفه، با استفاده از فریم نوفه‌ای جاری و فریم رفع‌نوفه‌شدهٔ قبلی انجام می‌شود.

روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D با فرض ناچیزبودن تغییرات در دو فریم متوالی از ویدئو عمل می‌کند. این فرض در بسیاری از کاربردهای ویدئویی یک فرض منطقی است و نتایج به‌دست‌آمده بر روی داده‌ها در بخش ۴ نیز نشان می‌دهد که این رویکرد کارایی مناسبی را به‌خصوص در کاهش زمان اجرا داشته است.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

برای ارزیابی رویکردهای پیشنهاد شده، از داده شبیه‌سازی و همچنین داده واقعی ویدئوسار که به‌صورت عمومی در دسترس هستند استفاده شده است[1]. داده‌های واقعی ویسار مربوط به ترافیک شهری بوده و از یک خیابان با

[1] داده‌های ویسار در نشانی
http://www.sandia.gov/radar/video. قابل‌دسترس هستند

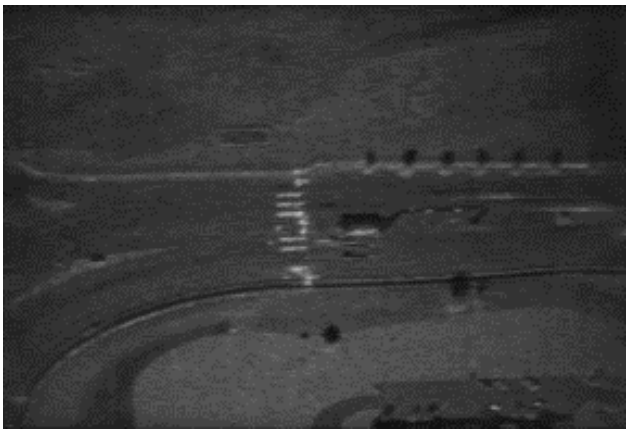
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

ترافیک متوسط ثبت‌شده است (شکل ۴ الف). برای ارزیابی بهتر روش‌ها، از داده‌های شبیه‌سازی نیز استفاده شد. برای این منظور با بررسی داده‌های مختلف، تصویر ویدئویی که شباهت زیادی با داده واقعی داشت (شکل ۴ ب) انتخاب شد [27]. این تصویر ویدئویی یک تصویر هوایی است که از بالا گرفته شده است و از نظر محیطی نیز شامل خیابان و اتومبیل در حال حرکت بوده و شباهت زیادی با نمونه داده ویسار واقعی دارد.

برای تهیه ویدئو با نوفه شبیه‌سازی، برای هر فریم نوفه اسپکل با میزان لوک L تولید و در فریم ضرب شده است. این نوفه بر اساس توزیع آماری رابطه زیر توصیف شده است [13] [18]:

$$PDF(n) = \frac{L^L n^{L-1} e^{-Ln}}{\Gamma(L)}, \quad n \geq 0, \quad L \geq 1 \qquad (۱)$$

که در این رابطه n متغیر تصادفی نرمال، Γ تابع گاما (توزیع χ^2 با 2L درجه آزادی) است. منظور از L تعداد لوک در تصاویر است. منظور از تصویر L-LOOK این است که تصویر مورد نظر از میانگین تعداد L دید (تصویربرداری) از ناحیه مورد نظر به‌دست آمده است [28] [29]. با توجه به این‌که در داده ویسار میزان لوک نوفه برابر سه بوده، در تمام شبیه‌سازی‌ها، نوفه با سطح لوک سه در نظر گرفته شده است



الف) فریمی از ویدئوی واقعی ویسار مربوط به ترافیک شهری
A) A frame of real ViSAR

ب) فریمی از ویدئو با نوفه شبیه‌سازی
B) A frame of video with simulated speckle noise

(شکل۴): فریمی از ویدئوهای استفاده شده برای ارزیابی روش‌های رفع نوفه
(Figure-4): Sample frames used for evaluation of denoising methods

۴-۱- معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی عملکرد رویکردها و فیلترهای مورداستفاده بر روی تصاویر شبیه‌سازی (که تصویر بدون نوفه در دسترس است) از شاخص‌های نسبت اوج سیگنال به نوفه (PSNR[1])، بتا (Beta)، و SSIM[2] [13]، [18]، [30]، [12] استفاده شده است. شاخص نسبت اوج سیگنال به نوفه، میزان رفع نوفه و شاخص بتا، میزان حفظ جزئیات در تصویر رفع نوفه‌شده را نشان می‌دهد. برای تصاویر واقعی (با توجه به در دسترس نبودن تصویر بدون نوفه واقعی) از دو شاخص ENL[3] و تصویر R [13] و [12] و [31] استفاده شده است. شاخص ENL بیانگر میزان حفظ نواحی همگن و تصویر R نشان‌دهنده نوسانات مصنوعی (artifact) است که الگوریتم رفع نوفه ممکن است، ایجاد کند.

چگونگی محاسبه این معیارها در ادامه بیان شده است. در تمامی این روابط z نشان‌دهنده تصویر نوفه‌ای، $\hat{x}$ تصویر رفع نوفه شده و x تصویر بدون نوفه است.

۴-۱-۱- نسبت اوج سیگنال به نوفه یا PSNR

مقدار بالاتر این معیار کارایی بهتر در رفع نوفه را نشان می‌دهد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$PSNR = 20.log10(MAX_z) - 10.log10(MSE) \qquad (۱۳)$$

که در این رابطه MAX_z، بیشترین مقداری که تصویر نوفه‌ای z می‌تواند داشته باشد و MSE[4]، مربع خطای کمینه تصویر اصلی و تصویر رفع نوفه شده است [12] [13].

[1] Peak Signal to Noise Ratio
[2] Structural Similarity Index Measure
[3] Equivalent Number of Looks
[4] Mean Square Error

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

۴-۱-۲- معیار بتا یا β

مقدار معیار بتا بین صفر و یک است و مقدار بالاتر این معیار کارایی بهتر در حفظ جزئیات را نشان می‌دهد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\beta = \frac{\Gamma\left(\Delta z - \overline{\Delta z},\ \widehat{\Delta x} - \overline{\widehat{\Delta x}}\right)}{\sqrt{\Gamma(\Delta z - \overline{\Delta z}, \Delta z - \overline{\Delta z}).\,\Gamma(\widehat{\Delta x} - \overline{\widehat{\Delta x}}, \widehat{\Delta x} - \overline{\widehat{\Delta x}})}} \quad (۱۴)$$

در این رابطه، منظور از Δz و $\widehat{\Delta x}$ به‌ترتیب فیلتر بالاگذر تصویر اصلی(نوفه‌ای) و تصویر رفع نوفه شده است. منظور از Γ عملگر لاپلاس و منظور از خط افقی روی متغیرها میانگین است [18] [13].

۴-۱-۳- معیار SSIM

این معیار، میزان شباهت بین تصویر بدون نوفه اولیه و تصویر رفع نوفه‌شده را محاسبه می‌کند. شباهت بین دو تصویر در این معیار با توجه به سه عامل درخشندگی[1]، کنتراست[2] و ساختار[3]، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SSIM(x,\hat{x}) = \frac{(2\mu_x\mu_{\hat{x}} + C_1)(2\sigma_{x\hat{x}} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_{\hat{x}}^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_{\hat{x}}^2 + C_2)} \quad (۱۵)$$

که در این معادله μ_x و $\mu_{\hat{x}}$ به‌ترتیب، میانگین تصویربدون نوفه اولیه و تصویر رفع نوفه‌شده، σ_x و $\sigma_{\hat{x}}$ به‌ترتیب انحراف از معیار تصویر بدون نوفه اولیه و تصویر رفع نوفه شده، $\sigma_{x\hat{x}}$ کوواریانس بین x و$\hat{x}$ و C_1 و C_2 مقادیر ثابت هستند [30].

۴-۱-۴- معیار ENL

این معیار میزان حذف نوفه در نواحی همگن تصویر بعد از رفع نوفه را نشان می‌دهد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$ENL = \frac{\mu_{\hat{x}}^2}{\sigma_{\hat{x}}^2} \quad (۱۷)$$

که در این رابطه $\mu_{\hat{x}}$ و $\sigma_{\hat{x}}$ میانگین و انحراف معیار در ناحیه همگن را نشان می‌دهد [12] [13] [31].

۴-۱-۵- تصویر R

این تصویر یک معیار چشمی برای سنجش نحوه عملکرد الگوریتم‌های رفع نوفه را فراهم می‌کند که با محاسبه نسبت تصویر نوفه‌ای به تصویر رفع نوفه شده حاصل می شود [13]. در حالت رفع نوفه کامل (ایده‌آل) تنها چیزی که در تصویر R مشاهده می‌شود نوفه اسپکل تصویر است؛ درحالتی‌که الگوریتم رفع نوفه کارایی مناسبی نداشته باشد، نوسانات مصنوعی (artifact) در تصویر ایجاد خواهد شد. نحوه محاسبه این معیار به‌صورت زیر است:

$$R = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{z^{(i)}}{\hat{x}^{(i)}} \quad (۱۸)$$

که در این رابطه N تعداد پیکسل‌های تصویر است [13].

۴-۲- ارزیابی با ویدئو با نوفه شبیه‌سازی

در این بخش به ارزیابی نتایج بر روی داده‌های شبیه‌سازی با به‌کارگیری شاخص نسبت اوج سیگنال به نوفه (PSNR)، بتا (Beta) و SSIM می‌پردازیم.

۴-۲-۱- ارزیابی سه رویکرد پیشنهادی

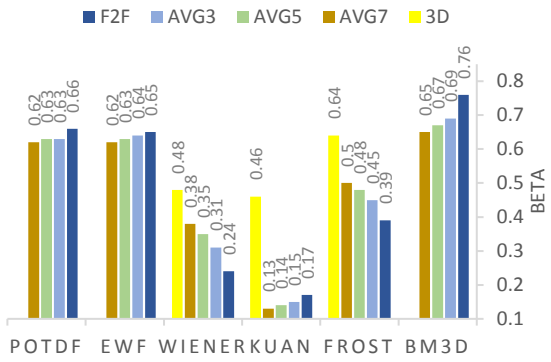
در این بخش سه رویکرد فریم‌به‌فریم (F2F)، میانگین‌گیری (AVG) و سه بعدی (3D) بررسی شده‌اند. در رویکرد میانگین‌گیری، مقدار یک فریم با میانگین‌گیری با K فریم همسایه به‌ازای $k = \{3,5,7\}$ بررسی شده است. در بخش ۳-۱-۳ توضیح داده شد که رویکرد سه‌بعدی از بلاک‌هایی با اندازه $k \times k \times t$ استفاده می‌کند. در اینجا مقادیر $k, t\epsilon\{3,5,7\}$ است.

شکل (۵) نتایج مربوط به الگوریتم‌ها با معیار PSNR، بتا و SSIM را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده در شکل (۵) نشان می‌دهد که طبق معیار PSNR، در روش‌هایی که رویکرد سه‌بعدی برایشان اجرا شده است، با توجه به سازگاری بهتر این رویکرد با ذات ویدئو، میزان حذف نوفه در این رویکرد بیشتر از دیگر رویکردها بوده‌است.

اجرای رویکرد سه‌بعدی برای روش‌های SAR-BM3D، EWF و POTDF به‌علت زمان اجرای بالا میسر نشد. به‌همین علت نتیجه سه‌بعدی این روش‌ها خالی گذاشته شده است. در این سه روش، رویکرد فریم‌به‌فریم نسبت به میانگین‌گیری عملکرد بهتری در میزان حذف نوفه داشته است. با توجه به معیار بتا نیز جزئیات در رویکرد سه‌بعدی بهتر از دو رویکرد دیگر حفظ شده است. معیار SSIM حذف نوفه درکنار حفظ ساختار و جزئیات تصویر را ارزیابی می‌کند. مطابق این معیار به‌طورکلی در همه روش‌ها رویکرد فریم‌به‌فریم نسبت به دیگر رویکردها عملکرد بهتری داشته است.

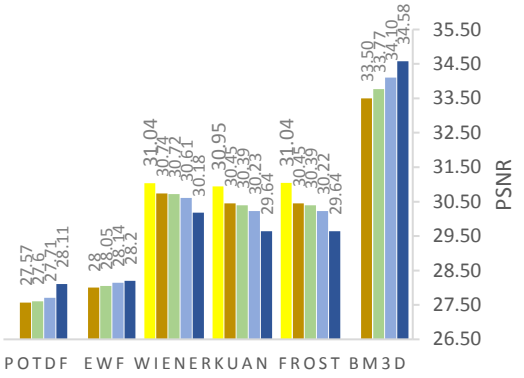
[1] Luminance
[2] Contrast
[3] Structure

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]



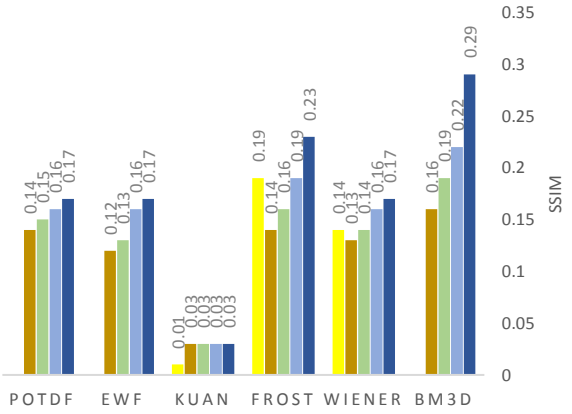
الف) معیار بتا

A) Beta



ب) معیار PSNR

B) PSNR



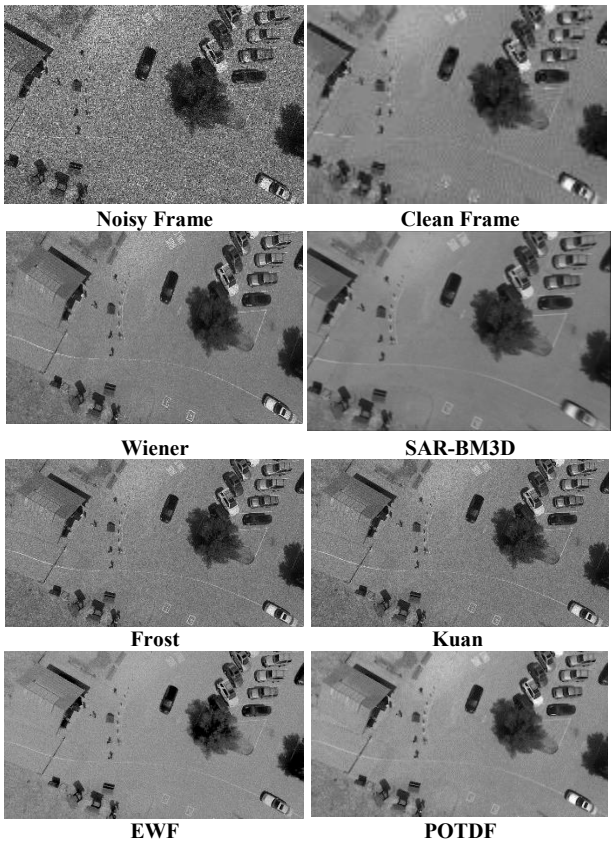
ج)معیار SSIM

C) SSIM

(شکل-۵): مقایسه سه رویکرد پیشنهاد در ویدئو با نوفه شبیه‌سازی

(Figure-5): Comparsion of the proposed sechmes on the video with simulated noise

در مجموع بر اساس سه معیار ارزیابی نشان داده‌شده، می‌توان گفت که روش SAR-BM3D در مقایسه با سایر روش‌ها، توانسته‌است عملکرد بهتری را از نظر حذف نوفه و همچنین حفظ ساختار و جزئیات تصویر فراهم کند. در شکل (۶) یک فریم از ویدئو و نتیجه رفع نوفه فریم‌به‌فریم برای هر روش نشان داده شده است. همان‌طور که تصاویر نیز به‌خوبی نشان می‌دهند، رویکرد فریم‌به‌فریم در روش SAR-BM3D نسبت به سایر روش‌ها، تصویر رفع نوفه‌شده بهتری را از نظر حذف نوفه و حفظ جزئیات تولید کرده است.



(شکل-۶): نمونه نتیجه رویکرد فریم‌به‌فریم هر روش بر روی یک فریم از ویدئو با نوفه شبیه‌سازی

(Figure-6): A sample denoised frame with farme-to-frame approach on the video with simulated noise

۲-۲-۴- ارزیابی روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D نسبت به SAR-BM3D

در بخش قبل دیدیم که روش SAR-BM3D بهتر از سایر روش‌ها عمل کرده است. در این بخش به ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D نسبت به روش SAR-BM3D می‌پردازیم. روش BM3D برای حذف نوفه جمع‌شونده و روش SAR-BM3D با بسط این روش برای حذف نوفه اسپکل ارائه شده است [21]. روش SAR-BM3D به‌کمک همسایگی غیرمحلی بلاک‌های تصویر و فیلتر LLMMSE که یک فیلتر وینر تطبیق‌پذیر است، کاهش نوفه را در فضای تبدیل انجام می‌دهد.

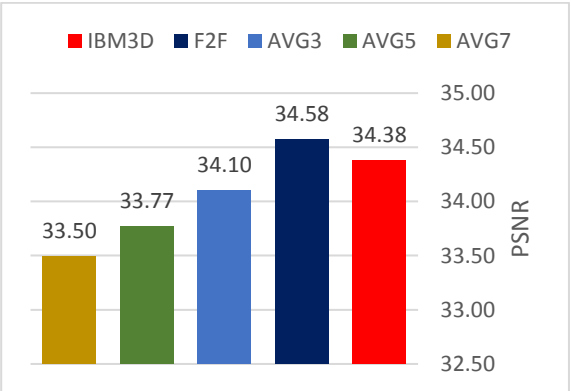
روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D نیز با توسعه روش SAR-BM3D برای ویدئو ویسار و با تغییر گام نخست این الگوریتم ارائه شده است. روش ViSAR-IBM3D از فریم قبلی برای تخمین اولیه رفع نوفه در فریم بعدی و با فرض ناچیزبودن تغییرات در دو فریم متوالی ویدئو عمل می کند؛ درصورتی‌که این فرض برقرار نباشد، روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D ممکن است

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

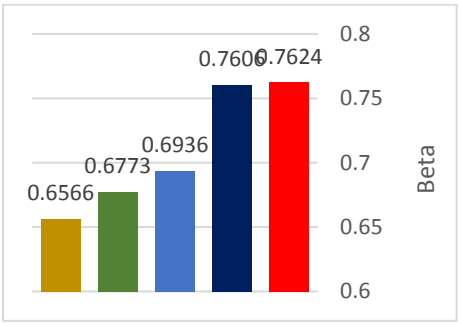
دقت کمتر ولی همچنان سرعت بیستری را در مقایسه با SAR-BM3D به‌همراه آورد. خوشبختانه فرض ناچیز بودن تغییرات در دو فریم متوالی در بسیاری از کاربردهای ویدئویی یک فرض منطقی است. نتایج به‌دست‌آمده بر روی داده‌های واقعی ویسار نیز مؤثر بودن روش پیشنهادی برای کاربردهای واقعی با سرعت پردازش مناسب را نشان می‌دهد. در الگوریتم پیشنهادی ViSAR-IBM3D، به کمک شباهت فریم‌های همسایه، مرحله اولیه رفع نوفه برای همه‌ی فریم‌ها به‌جز فریم نخست ویدئو حذف شده است؛ به‌جای مرحله اولیه رفع نوفه از نزدیک‌ترین فریم همسایه‌ی رفع نوفه‌شده یعنی فریم قبلی ویدئو استفاده شده است. با این راهکار روش ViSAR-IBM3D توانسته است، علاوه‌بر رفع نوفه مناسب تصویر، سرعت انجام رفع نوفه را به‌صورت چشم‌گیری کاهش دهد.

در شکل (۷) نتایج الگوریتم ViSAR-IBM3D و رویکردهای فریم‌به‌فریم و میانگین‌گیری ($k \in \{3,5,7\}$) برای SAR-BM3Dمقایسه شده است. نتایج عددی بر اساس معیارهای ارزیابی نشان می‌دهند که الگوریتم ViSAR-IBM3D نتیجه رفع نوفه قابل‌مقایسه‌ای نسبت به رویکرد فریم‌به‌فریم در روش SAR-BM3D دارد. صرف نظر از کارایی رفع نوفه، روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D برتری قابل توجهی در زمان اجرا نسبت به روش SAR-BM3D فریم‌به‌فریم دارد. شکل (۸) زمان اجرای این دو روش را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود، روش ViSAR-IBM3D میزان پردازش را به صورت چشم‌گیری کاهش داده و به زمان اجرای تقریباً یک ششم روش SAR-BM3D فریم‌به‌فریم دست یافته است. این موفقیت با بهره‌گیری از فریم قبلی برای فراهم کردن تخمین اولیه جهت رفع نوفه هر فریم از ویدئو حاصل شده است.



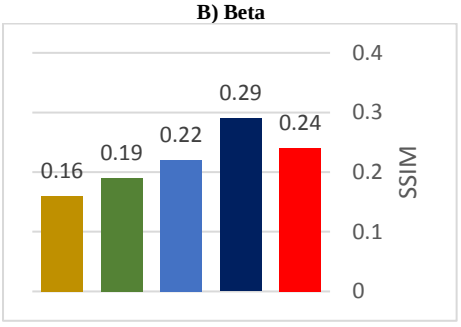
الف)معیار PSNR

A) PSNR



ب)معیار بتا

B) Beta

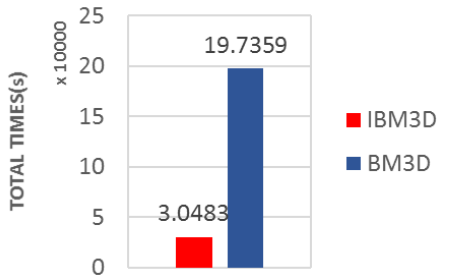


د) معیار SSIM

D) SSIM

(شکل-۷): مقایسه رویکردهای مختلف SAR-BM3D با روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D در ویدئو با نوفه شبیه‌سازی

(Figure-7): Comparasion between diferent schems of SAR-BM3D and ViSAR-IBM3D with simulated speckle noise



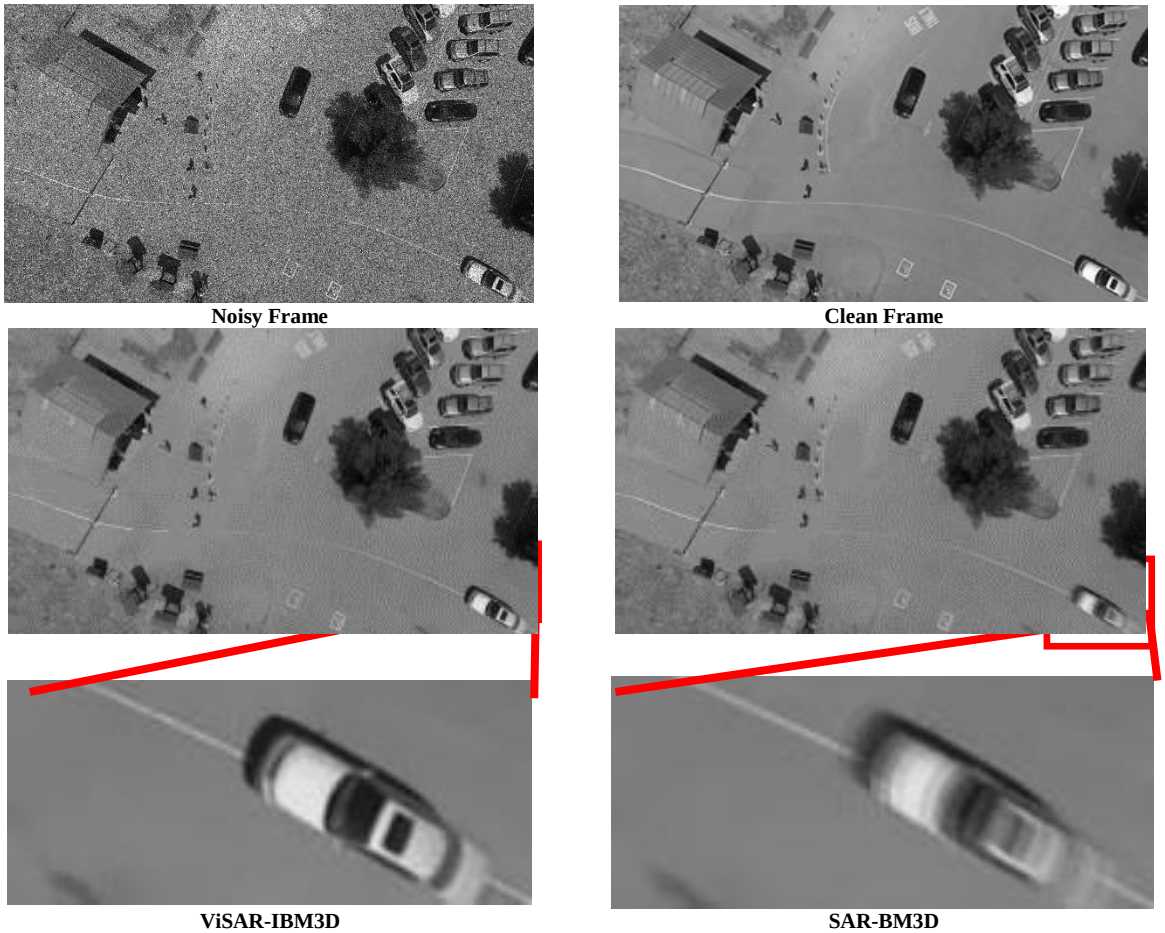
(شکل-۸): مقایسه زمان اجرای SAR-BM3D فریم‌به‌فریم نسبت به روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D

(Figure-8): Execution time comparasion between SAR-BM3D with frame-to-frame scheme and proposed ViSAR-IBM3D

برای مقایسه بهتر این دو روش در شکل (۹) یک فریم از تصویر و نتایج رفع نوفه آن‌ها آورده شده است. در این شکل، خودرو سمت راست و پایین تصویر که با مربع قرمز رنگ مشخص شده، بزرگ‌نمایی شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، به‌صورت چشمی ViSAR-IBM3D تصویر شفاف‌تر و با تمایز و حفظ جزئیات بهتری را نسبت به روش SAR-BM3D با رویکرد فریم‌به‌فریم را نشان می‌دهد. روش پیشنهادی توانسته است، علاوه‌بر حذف مناسب نوفه، جزئیات تصویر مانند سقف شیشه‌ای و آینه خودرو را به‌خوبی حفظ کند.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]



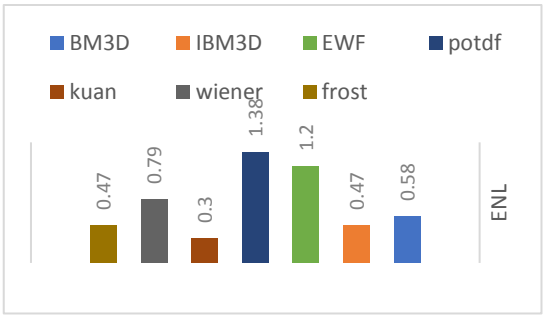
(شکل-۹): نتایج دو روش SAR-BM3D و ViSAR-IBM3D بر روی یک فریم از ویدئو با نوفه شبیه سازی

(Figure-9): A smpple denoised frame on on video with simulated speckle noise for SAR-BM3D and ViSAR-IBM3D

۳-۴- ارزیابی با ویدئوی واقعی ویسار

در این بخش عملکرد بهترین رویکردهای مربوط به هر روش که در بخش قبل مشخص شده‌اند را بر روی ویدئو واقعی ویسار که از یک صحنه ترافیک شهری گرفته شده است، مورد ارزیابی قرار خواهیم داد. با توجه به عدم در دسترس بودن داده بدون نوفه از معیار ENL و تصویر R برای مقایسه استفاده خواهیم کرد [13] و [12] و [31].

معیار ENL (رابطه (۱۷)) میزان حذف نوفه ناحیه همگن تصویر را نشان می‌دهد و بیشتر بودن آن نشان دهنده حذف نوفه بهتر در ناحیه همگن است. برای محاسبه این معیار دو ناحیه همگن در تصاویر مشخص شده و این معیار برای دو ناحیه محاسبه و میانگین آن‌ها گزارش شده است. شکل (۱۰) معیار ENL برای هر روش را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه این است که طبق معیار ENL دو روش SAR-BM3D و ViSAR-IBM3D در حفظ نواحی همگن ضعیف‌تر از بقیه عمل کرده‌اند. در مرجع [21] نیز بحث شده است که این معیار به تنهایی ارزیابی مناسبی را فراهم نمی‌کند. در رابطه ENL (رابطه (۱۷)) ، از واریانس مقادیر پیکسل‌ها در مخرج رابطه برای تخمین همگن‌بودن ناحیه استفاده شده است. واضح است که صرف نظر از مقادیر پیکسل‌ها در ناحیه همگن، اگر مقادیر پیکسل‌های ناحیه را برابر با یک مقدار ثابت قرار دهیم، این معیار به سمت بی‌نهایت خواهد رفت. این مسئله باعث می‌شود که این معیار نتواند تخمین مناسب از کارایی الگوریتم رفع نوفه در حفظ ساختار و جزئیات تصویر فراهم کند.



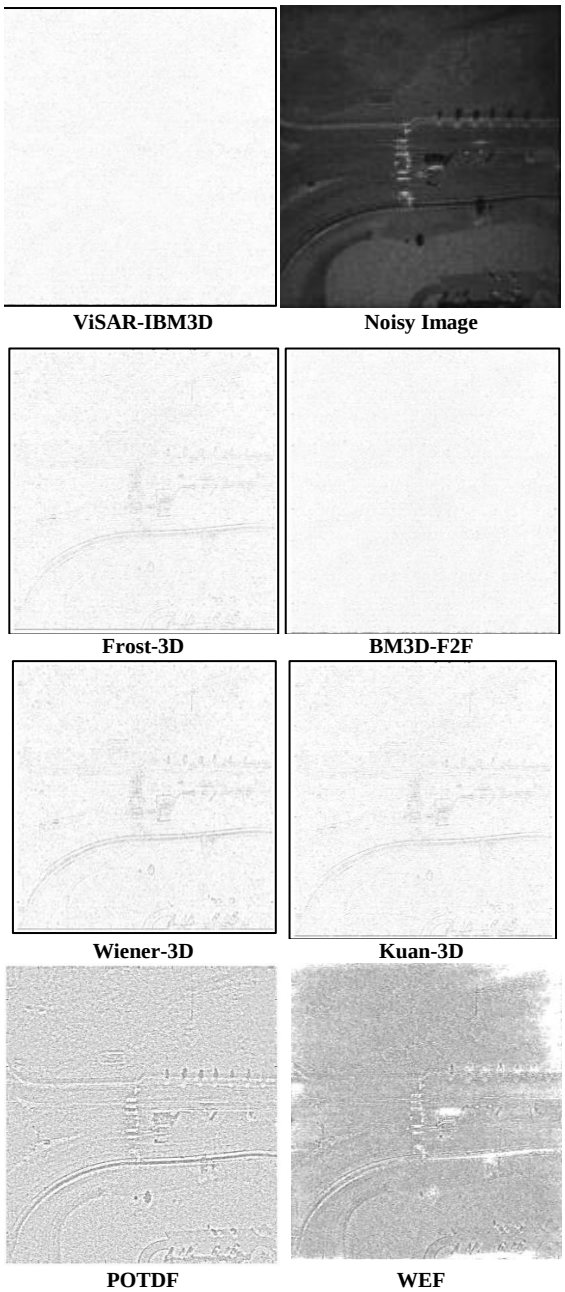
(شکل-۱۰) مقایسه ENL روش‌های مختلف بر روی داده واقعی ویسار

(Figure-10): ENL of each filter on real ViSAR

بر اساس ارزیابی مرجع [13]، برای مقایسه بهتر روش‌های رفع نوفه روی تصاویر واقعی، از تصویر R (رابطه (۱۸)) استفاده شده است. شکل (۱۱) تصاویر R به‌دست

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

آمده از نتیجه رفع نوفه هر روش را نشان می‌دهد. این تصاویر می‌تواند ضعف اضافه‌شدن نوسانات مصنوعی (artifact) در تصویر، بعد از رفع نوفه را نشان دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، سه رویکرد مربوط به کوان، وینر و فراست نوسانات مصنوعی را در خروجی ایجاد کرده‌اند و در حفظ ساختار اصلی تصویر و جزئیات تصویر ضعیف عمل کرده‌اند. درحالی‌که در تصاویر R مربوط به SAR-BM3D و ViSAR-IBM3D صرفاً نوفه اسپکل تصویر باقی‌مانده است و این مسأله بیان‌گر عملکرد مناسب این دو روش در حفظ ساختار و جزئیات تصویر است.



(شکل-۱۱): تصویر حاصل از معیار R بر روی نتایج فیلترها بر روی داده واقعی ویسار

(Figure-11): R criteria image of each filter on real ViSAR

۵- جمع‌بندی

در این مقاله، سه رویکرد مختلف جهت سفارشی‌سازی الگوریتم‌های رفع نوفه اسپکل در تصویر برای رفع نوفه اسپکل در ویدئو ویسار ارائه شد. کارایی سه رویکرد پیشنهادی بر روی فیلترهای کوان، وینر، فراست، و SAR-BM3D بررسی و ارزیابی شد؛ علاوه‌براین ساختار روش رفع نوفه تصویری SAR-BM3D برای ویدئو تغیر داده شد و روش جدیدی با نام ViSAR-IBM3D ارائه شد. نتایج بر روی داده‌های ویدئویی با نوفه شبیه‌سازی و همچنین داده‌های واقعی ویسار با معیارهای ارزیابی مختلف کمی و کیفی ارزیابی شد. در مجموع نتایج به‌دست‌آمده کارایی روش پیشنهادی ViSAR-IBM3D را نشان می‌دهد. این روش توانسته است با رفع نوفه مناسب ویدئو، علاوه‌بر حفظ ساختار و جزئیات تصویر، بهبود چشم‌گیری در زمان اجرا نسبت به روش SAR-BM3D داشته باشد.

۶- مراجع 6- References

[1] "Pathfinder Airborne ISR Systems: What Is Synthetic Aperture Radar?," [Online]. Available: http://www.sandia.gov/radar/what_is_sar/index.html. [Accessed 1 July 2017].

[2] H. Yan, X. Mao, J. Zhang and D. Zhu, "Frame rate analysis of video synthetic aperture radar (ViSAR)," in International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), 2016.

[3] X. Song and W. Yu, "Processing video-SAR data with the fast backprojection method," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 52, no. 6, pp. 2838--2848, 2016.

[4] T. Yamaoka, K. Suwa, T. Hara and Y. Nakano, "Radar video generated from synthetic aperture radar image," in IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016.

[5] A. Voisin, V. A. Krylov, G. Moser, S. B. Serpico and J. Zerubia, "Classification of very high resolution SAR images of urban areas using copulas and texture in a hierarchical Markov random field model," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 10, no. 1, pp. 96-100, 2013.

[6] F. Baselice, G. Ferraioli and V. Pascazio, "Markovian change detection of urban areas using very high resolution complex SAR images," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 11, no. 5, pp. 995-999, 2014.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

[7] M. Pham, G. Mercier and J. Michel, "Change Detection Between SAR Images Using a Pointwise Approach and Graph Theory," *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol. 54, no. 4, pp. 2020--2032, 2016.

[8] J. S. Lim, "Two-dimensional signal and image processing," Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1990.

[9] V. S. Frost, J. A. Stiles, K. S. Shanmugan and J. C. Holtzman, "A model for radar images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise," *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 4, no. 2, pp. 157-166, 1982.

[10] J.-S. Lee, "Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 2, no. 2, pp. 165-168, 1980.

[11] D. T. Kuan, A. A. Sawchuk, T. C. Strand and P. Chavel, "Adaptive noise smoothing filter for images with signal-dependent noise," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 7, no. 2, pp. 165-177, 1985.

[12] S. Liu, M. Liu, P. Li, J. Zhao, Z. Zhu and X. Wang, "SAR Image Denoising via Sparse Representation in Shearlet Domain Based on Continuous Cycle Spinning," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 5, pp. 2985-2992, 2017.

[13] S. Parrilli, M. Poderico, C. V. Angelino and L. Verdoliva, "A nonlocal SAR image denoising algorithm based on LLMMSE wavelet shrinkage," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 50, no. 2, pp. 606-616, 2012.

[14] I. W. Selesnick, R. G. Baraniuk and K. N. G., "The Dual-Tree Complex Wavelet Transform," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, no. 6, pp. 123-151, 2005.

[15] M. Mastriani and A. E. Giraldez, "Kalman-s Shrinkage for Wavelet-Based Despeckling of SAR Images," *World Academy of ScienceEngineering and Technology, International Journal of Computer*, Electrical, Automation, Control and Information Engineerin, vol. 2, no. 4, pp. 1213-1219, 2008.

[16] M. Nasri and H. Nezamabadi-pour, "Image denoising in the wavelet domain using a new adaptive thresholding function," *Neurocomputing*, vol. 72, no. 4, pp. 1012-1025, 2009.

[17] X.-P. Zhang, "Space-scale adaptive noise reduction in images based on thresholding neural network," in IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings, 2001.

[18] L. Xu, J. Li, Y. Shu and J. Peng, "SAR image denoising via clustering-based principal component analysis," *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, vol. 52, no. 11, pp. 6858-6869, 2014.

[19] B. Xu, Y. Cui, Z. Li, B. Zuo, J. Yang and J. Song, "Patch ordering-based SAR image despeckling via transform-domain filtering," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 8, no. 4, pp. 1682-1695, 2014.

[20] B. Kanoun, G. Ferraioli, V. Pascazio and G. Schirinzi, "Fast gpu-based enhanced wiener filter for despeckling sar data," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 12, pp. 1473, 2019.

[21] 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.

[22] G. Chierchia, M. El Gheche, G. Scarpa and L. Verdoliva, "Multitemporal SAR Image Despeckling Based on Block-Matching and Collaborative Filtering," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 10, pp. 5467-5480, 2017.

[23] Z. Abedi, M. Yazdian-Dehkordi, "Evaluation of Image Denoising Methods for ViSAR Data", in 23th National CSI Computer Conference, Tehran, Iran, 2018 (In Persian).

[۲۳] ز. عابدی و م. یزدیان دهکردی, "ارزیابی روش‌های کاهش نوفه اسپکل برای داده‌های ویدئویی ViSAR," در بیست و سومین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران, تهران, ۱۳۹۶.

[24] C. P. Loizou, C. S. Pattichis, C. I. Christodoulou, R. S. Istepanian, M. Pantziaris and A. Nicolaides, "Comparative evaluation of despeckle filtering in ultrasound imaging of the carotid artery," *IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, vol. 52, no. 10, pp. 1653-1669, 2005.

[25] P. Courmontagne, "Speckle noise reduction: a review Advances in Seafloor-Mapping Sonar," 1 December 2007. [Online]. Available: http://departements.imt-atlantique.fr/data/iti/seafloor/presentations/ISEN_Courmontagne_Speckle_noise_reduction.pdf. [Accessed 1 December 2018].

[26] H. Xie, L. E. Pierce and F. T. Ulaby, "Statistical properties of logarithmically transformed speckle," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40, no. 3, pp. 721-727, 2002.

[27] T. Shu, D. Xie, B. Rothrock, S. Todorovic and

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

S. Chun Zhu, "Joint inference of groups, events and human roles in aerial videos," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2015.

[28] A. Bhattacharya, "Centre of Studies in Resources Engineering," 11 April 2013. [Online]. Available: http://www.csre.iitb.ac.i-n/~avikb/GNR647/Lec_11_Speckle.pdf. [Accessed 20 February 2019].

[29] H. Xie, L. E. Pierce and F. T. Ulaby, "Statistical Properties of Logarithmically Transformed Speckle," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40, no. 3, pp. 721-727, 2002.

[30] Z. {Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," *IEEE transactions on image processing*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004.

[31] X. Wang, L. Ge and X. Li, "Evaluation of Filters for Envisat Asar Speckle Suppression in Pasture Area," *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 341-346, 2012.

[32] H. R. {Sheikh and A. C. Bovik, "Image information and visual quality," *IEEE Transactions on image processing*, vol. 15, no. 2, pp. 430-444, 2006.

زهرا عابدی مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه فسا اخذ کرد و از سال ۱۳۹۵ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی دانشگاه یزد است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش تصویر، بینایی ماشین و یادگیری ماشین است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

zahra.abedi@stu.yazd.ac.ir

مهدی یزدیان دهکردی مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه یزد و مدرک کارشناسی ارشد و دکترای خود را به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۴ در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی از دانشگاه شیراز اخذ کرد. در حال حاضر عضو هیئت علمی و استادیار دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه یزد می‌باشد. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و بینایی ماشین است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

yazdian@yazd.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-12]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.1.137]