مجله کنترل
ISSN 2008-8345
جلد ۴، شماره ۱، بهار ۱۳۸۹، صفحه ۳۲-۲۲

ارائه یک روش جدید فازی برای هموار سازی سیگنال‌های دوبُعدی

حامد شکوری گنجوی[۱]، مجتبی عربی[۲]

[۱] دانشیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه تهران، hshakouri@ut.ac.ir

[۲] دانش آموخته دانشکدهٔ مهندسی برق، دانشگاه شاهد، ajalali@iust.ac.ir

(تاریخ دریافت مقاله ۱۳۸۹/۱/۱۱، تاریخ پذیرش مقاله ۱۳۸۹/۳/۱۰)

چکیده: پیش از این یک روش ساده برای هموارسازی سیگنال های تک بعدی، مبتنی بر یک قانون فازی ارائه شده است. در این مقاله روش ساده و موثر مذکور به هموارسازی سیگنال های دوبُعدی توسعه داده شده است. در این روش ابتدا نقاط تیز با استفاده از مفهوم متغیرهای زبانی تعریف و سپس با مشارکت نقاط همسایه هموار می‌شوند. این روش برای کاهش اثر همه انواع نویز ضربه، در سیگنال‌های دوبُعدی طراحی شده است. الگوریتم پیشنهادی دارای سه مرحله است. در مرحله اول شاخص تیزی تمام نقاط سیگنال محاسبه می‌شود. مجموعه فازی «*نقاط تیز*» در مرحله دوم تشکیل می شود. در مرحله پایانی، داده‌های نقاط عضو در مجموعه فازی مذکور بامشارکت داده-های همسایگان آن نقاط تعدیل می‌شوند. حفظ نقاط آسیب ندیده در سیگنال، یکی از مزیت‌های اصلی این روش است. برای بدست آوردن نتایجِ شبیه سازیِ روش پیشنهادی، این روش برای حذف نویز از تصاویر سیاه و سفید و رنگی (به عنوان یک سیگنال دوبُعدی) پیاده سازی شده است. نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی در مقایسه با نتایج بدست آمده از فیلترهایی مانند AWFM ، PWLFIRE و DSFIRE کارایی الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: هموارسازی دوبعدی، پردازش تصویر، فیلتر فازی، فیلتر دیجیتال غیرخطی، کاهش نویز ضربه، بهبود تصویر رنگی.

Introduction to a Novel Fuzzy Filter for Smoothing 2-Dimensional Signals

H. Shakouri G., Mojtaba Arabi

Abstract: Infection of the correct data by various kinds of noise in transmission or reception of communication signals is an undeniable fact. Data errors may also exist in statistical socio-economic measurements. Annihilation or reduction of noise is a field that attracts many researchers. On the other hand, fuzzy theory has appeared as a powerful tool in this field. Fuzzy filters are often strong in smoothing of corrupted signals, whereas these filters have simple structure. This paper presents a novel fuzzy logic based smoothing filter that has shown both accuracy and simplicity in recovering noisy images by sharpness reduction. Indeed, the proposed procedure is generalization of a previously introduced Fuzzy Smoothing Filter (FSF) for one-dimensional signals. In this method, the sharpness of each point is first determined assigning an index term. Then the procedure looks for "*very sharp*" points and then smoothes by sharing the values of the eight (or more) neighboring points to correct their values. The lower is the average sharpness of the signal the lower is the signal noise level. This way, the method smoothes out the sharpness and hence reduces the noise of the mix data. To obtain experimental results of the proposed procedure, it is applied to enhance color images corrupted by various levels of noise. The results are compared with some other known methods like AWFM, PWLFIRE and DSFIRE. This comparison exhibits superiority of the proposed method in numerical measures and visual inspection. The method has been designed for annihilation of all kinds of impulse noise in any two-dimensional signals, especially socio-economic statistical data.

Keywords: Image Processing, Smoothing Filter, Fuzzy Filter, Nonlinear Digital Filter, Impulse Noise Reduction, Color Image Enhancement.

۱- مقدمه

پردازش سیگنال از معروف ترین زمینه‌هایی است که تعداد زیادی محقق در آن مشغول بکار هستند. طراحی صافی (فیلتر) یکی از شاخه-های اصلی در پردازش سیگنال است. روش‌های مختلفی برای فیلتر کردن سیگنال به منظور حذف نویز و استخراج اطلاعات مفیدتر از درون آنها استفاده می‌شود. در میان این روش‌ها، نظریه فازی نقش بسیار مهمی در طراحی فیلترهای غیرخطی بازی می‌کند. در واقع توانایی منطق فازی در ساده سازی مسائل، مزیتی برای طراحی فیلترهای فازی در نظر گرفته می شود.

در پردازش تصویر نیز از روش‌های مختلفی به منظور هموارسازی تصاویر استفاده می‌شود. استفاده از فیلترهای فازی بطور گسترده‌ای رو به افزایش است. روش‌های فازی در تشخیص لبهٔ تصاویر [۱][۲] ، بهبود تصویر باحذف نویز [۳] [۴] ، و حذف نویز ضربه و یا حذف نویزهای افزایشی به کمک فیلتر فازی، از رشته هایی هستند که نظریه فازی در آنها رشد داشته است. به علاوه پردازش تصاویر پزشکی به کمک تئوری فازی زمینه‌ای مستقل در پردازش تصویر است [۵] [۶] **Error! Reference source not found.**. نظریه فازی در پردازش زبان، دانش زیستی (بیوانفورماتیک)، کنترل ترافیک در شبکه های کامپیوتری علاوه بر پردازش صدا و تصویر، حضور دارد. حضور منطق فازی در مطالعات مرتبط با علوم انسانی و اجتماعی که خود داستانی طولانی دارد و چه بسا پرکاربردترین حوزه برای این نظریه باشد [۵] .

فیلترهای متنوعی برای حذف اثر نویز از تصاویر وجود دارد. تقریبا در تمام این فیلترها از اطلاعات آسیب ندیده تصویر، برای اصلاح بخش‌های آسیب دیده، استفاده می‌شود.

از میان این فیلترها به چند مورد اشاره می‌شود. فیلتر مشهور میانه‌ای، MF، ونسخه فازی آن، FMF، در عین سادگی توانایی بالایی را درحذف نویزهای ضربه از خود نشان داده‌اند. با این حال، درصورت افزایش سطح نویز از کارایی فیلتر با سرعت زیادی کاسته می‌شود. فیلتر AWFM [۱۰] نسخه اصلاح شده فیلتر WFM است که با اضافاتی برآن بدست آمده است. این فیلتر دارای بخشی برای تخمین دامنه نویز ضربه است. به عبارت بهتر برای اصلاح تصاویر، ابتدا دامنه نویز در نقاط آسیب دیده تخمین زده می‌شود، سپس فیلتر به اصلاح نقطه مذکور می-پردازد.

نویز ضربه، نویز افزایشی و نویز ضربی سه نوع از نویزهایی هستند که می توانند سیگنال های دوبُعدی را مخدوش کنند. نویز ضربه تنها درصدی از سیگنال را مخدوش می کند و بخشی از سیگنال بدون تغییر باقی می‌ماند. نویز افزایشی و نویز ضربی کل سیگنال را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نویز ضربه با دامنه ثابت، نویز ضربه با دامنه متغیر دو نوع از انواع نویزهای ضربه است. متد طراحی شده در این مقاله برای حذف تمام انواع نویز ضربه مناسب است.

ایده اولیه روش پیشنهادی برای هموارسازی سیگنال های تک بعدی شکل گرفت. نتایج مطلوب روش پیشنهادی برای هموارسازی سیگنال‌های تک بعدی حاصل از آمارگیری‌های اقتصادی و اجتماعی و همچنین صدا به عنوان عمومی ترین سیگنال تک بعدی، ایده توسعه روش مذکور برای کاهش تیزی در سیگنال‌های دوبعدی را تقویت کرده است. در این نوشته قانون فازی طراحی شده برای حذف نویز از سیگنال‌های تک بُعدی، به روشی برای حذف نویز از سیگنال های دوبُعدی تعمیم داده می شود.

فیلتر هموارساز فازی پیشنهادی (TDFS) از سه بخش کلی تشکیل شده است. در قسمت اول میزان تیزی منحنی در تمام نقاط سیگنال محاسبه می شود. در دومین بخش باتوجه به شاخص تیزی به دست آمده در قسمت اول، مجموعه فازی *"نقاط تیز"* تشکیل می شود. در بخش سوم هریک از نقاط تیز با توجه به میزان عضویت در مجموعه فازی "نقاط تیز" به کمک مشارکت نقاط همسایه، هموار می شوند. در واقع برای حذف و یا کاهش تأثیر نویز ضربه، تمام عضوهای مجموعه فازی مذکور بایستی هموار شوند. برای بدست آوردن تیزی سیگنال در بخش اول از روشِ TDFS، ما باید زاویه سیگنال را در تمام نقاط آن محاسبه کنیم. سپس به کمک زاویه بدست آمده میزان تیزی نقطه ها را بدست می آوریم. در بخش دوم نقاط تیز جستجو می شود. سهم مشارکت نقاط همسایه با توجه به میزان تیزی نقطه مرکزی در بخش سوم محاسبه می شود. بطور خلاصه متد پیشنهادی ما حاصل تعمیم روش MFS از هموارسازی سیگنال های تک بُعدی به هموارسازی سیگنال‌های دوبُعدی است.

در ادامه مقاله، تفاوت سیگنال دوبعدی با سیگنال تک بعدی در بخش دوم و روش پیشنهادی ما در بخش سوم معرفی می شود. برخی اصلاحات و ساده‌سازی‌ها در بخش چهارم ارائه شده است. در بخش پنجم متد پیشنهادی را با فیلترهای غیرخطی مقایسه کرده‌ایم. نتایج شبیه سازی فیلتر پیشنهادی و مقایسه روش مذکور با فیلتر AWFM در بخش ششم ارائه شده است. بخش هفتم شامل جمع بندی و نتیجه گیری است.

۲- معرفی هموارساز فازی ساده

در [۵] نشان داده شد که چنانچه درصد نویز افزایش یابد، تیزی متوسط درآن افزایش خواهد یافت. به همین دلیل تعمیم ایده کاهش اثر نویز با استفاده از کاهش تیزی در منحنی یک سیگنال تک بعدی به حوزه سیگنال‌های دوبعدی در این مقاله دنبال شده است. اما پیش از معرفی هموارساز فازی برای سیگنال‌های دوبعدی، در این بخش ابتدا تنها شکل ساده و اصلاح شده از روش پیشنهادی در خصوص سیگنال-های تک بعدی به طور بسیار خلاصه معرفی می شود.

مروری بر صافی هموارسازی فازی تک بعدی

سیگنال اولیه را $x(t)$ وهموارشده آن را $y(t)$ نام می‌نهیم و از نماد زیر برای نمایش هموارسازی فازی استفاده می‌کنیم:

$$y(t) = \mathbf{S}_{\mathrm{F}}\{x(t)\} \qquad (1)$$

که در آن $\mathbf{S}_{\mathrm{F}}\{.\}$ در قانون ساده زیر خلاصه می‌شود:

قانون R1: اگر تیزی منحنی در نقطه t زیاد باشد، آنگاه اندازه منحنی دراین نقطه بانقاط مجاور مشارکت داده می‌شود.

برای تشخیص تیزی و در واقع ناهمواری، محاسبه زاویه شکست در هر نقطه از منحنی لازم است. توجه شود که مقدارمطلق زوایا مدنظر بوده و مثبت یا منفی بودن آن ها از نظر هموارسازی تفاوتی ندارد. از این رو، رابطه زیر بعنوان شاخص ($index$) تعیین تیزی در نقطه k ام بکار گرفته شده است:

$$s_k = \cos(\theta_k) + 1 \qquad (2)$$

$$\theta_k = \tan^{-1}\left|\frac{\gamma(t_k - t_{k-1})}{x_k - x_{k-1}}\right| + \tan^{-1}\left|\frac{\gamma(t_{k+1} - t_k)}{x_{k+1} - x_k}\right| \qquad (3)$$

$$\gamma = (\text{constant})\ \mathrm{E}\{|\Delta x|\} \qquad (4)$$

که در آن γ یک ثابت تنظیم برای حذف اثر مقیاس‌بندی در دو محور عرضی یا طولی است و از این پس برابر با ۱ فرض می‌شود. واضح است که اندازه شاخص تعریف شده از صفر (برای ۱۸۰ درجه) تا ۲ (برای صفر درجه) متغیر است.

اگرچه در روش اصلی باید با تعریف توابع عضویت مناسب برای متغیر زبانی «تیزی» قانون فازی مورد استفاده پیاده‌سازی شود، درشکل ساده و اصلاح شده از روش مورد نظر با انتخاب یک پارامتر قابل کنترل بنام σ_0 وبا مفهوم «تیزی بحرانی» تنها نقاطی از سیگنال پردازش می‌شوند که در آن ها:

$$s_k > \sigma_0 \qquad (5)$$

همچنین متغیر زبانی «مشارکت» با متغیر زبانی «انحصار» جایگزین شده و به جای تعیین آن از طریق بکارگیری توابع عضویت، تنها یک پارامتر قابل کنترل ثابت به نام ρ_0 میزان مشارکت نقاط مجاور نقطه k ام در مقدار آن نقطه ویا به عبارت دیگر مقدار انحصار آن نقطه را در تعیین مقدار پردازش شده مشخص می‌کند. براین اساس خروجی صافی در هر نقطه چنین محاسبه می‌شود:

$$y(t_k) = \left[x(t_{k-1}) + \rho_k\, x(t_k) + x(t_{k+1})\right] / (2 + \rho_k) \qquad (6)$$

که در آن:

$$\rho_k = \rho_0\ ;\ \forall k \mid s_k > \sigma_0 \qquad (7)$$

هر مرحله از پردازش در نهایت با تصحیح اندازه داده‌ها برای ثابت ماندن اندازه انتگرال منحنی اولیه کامل می‌شود که برای این منظور باید اندازه سیگنال را در نقاط مجاور بصورت زیر تصحیح نمود:

$$y(t_{k-1}) = x(t_{k-1}) + \left[x(t_k) - y(t_k)\right] / 2 \qquad (8)$$

$$y(t_{k+1}) = x(t_{k+1}) + \left[x(t_k) - y(t_k)\right] / 2 \qquad (9)$$

ملاحظه می‌شود که چون تیزی تنها با استفاده از دو نقطه مجاور محاسبه شده‌است، تصحیح اندازه سیگنال نیز تنها در همان دو نقطه انجام یافته‌است، به عبارت دیگر، عرض پنجره این صافی همواره برابر با ww=3 درنظر گرفته می‌شود. اگرچه می‌توان با افزایش این عدد به صافی‌های پیچیده‌تری نیز دست یافت، کارآیی همین صافی ساده چندان است که برای سیگنال‌های تک بعدی نیاز به افزایش پیچیدگی احساس نمی‌شود.

چون اعمال تصحیحات (8) و (9) منجر به ایجاد ناهمواری‌های جدیدی در منحنی داده‌ها می‌شود، لازم است پردازش داده‌ها تکرار شده وتا آنجا ادامه یابد که هیچ نقطه‌ای با ناهمواری بیش از مقدار بحرانی باقی نماند.

تفاوت سیگنال تک بعدی و سیگنال دو بعدی

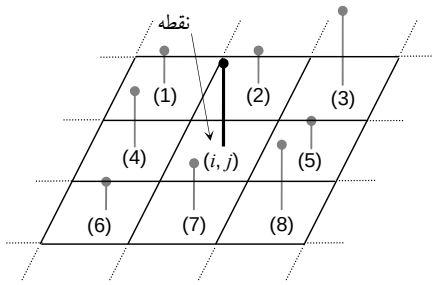
بطور کلی و از یک منظر مستقل می‌توان سیگنال‌های اطلاعاتی را براساس بُعد دسته بندی کرد. سیگنال‌های اطلاعاتی تک بُعدی مانند صدا، و سیگنال های دوبُعدی مانند تصویر مشهورترین این سیگنال‌ها هستند. از آنجا که مقاله حاضر درصدد تعمیم روش اعمال شده بر سیگنال‌های تک بُعدی به دوبُعدی است، قبل از تشریح روش پیشنهادی جادارد تفاوت سیگنال‌های دوبُعدی با سیگنال‌های تک بُعدی از نظر «زاویه» و «تیزی» بیان شود.

در سیگنال‌های تک بُعدی در کنار هر نقطه مشخص دو نقطه همسایه وجود دارد، در حالیکه در سیگنال‌های دوبُعدی درکنار هرنقطه

معین می‌توان هشت نقطه همسایه در نظر گرفت. در سیگنال‌های دیجیتال تک بُعدی نقطه مرکزی و دو نقطه همسایه‌اش براحتی تشکیل یک زاویه می‌دهند. در واقع این زاویه نمایانگر میزان تیزی در نقطه مرکزی است. به شکل (۱) این موضوع را بهتر نشان می دهد.

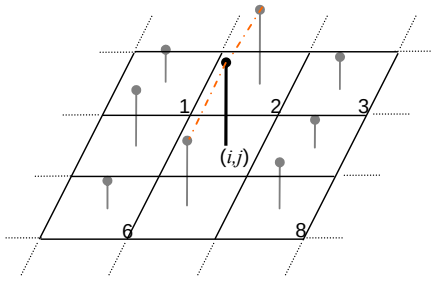
شکل (۱) : سیگنال تک بُعدی نمونه، یک نقطه مرکزی و دو نقطه همسایه‌اش که تشکیل یک زاویه می دهند.

در سیگنال‌های دوبُعدی در کنار هر نقطه معین مرکزی هشت نقطه همسایه وجود دارد. نقطه مرکزی و هشت همسایه خود تشکیل یک پنجره ۳×۳ می دهند.شکل (۲) چگونگی قرار گرفتن نقطه مرکزی و هشت همسایه خود را در کنار هم نشان می دهد.



شکل (۲) : نقطه مرکزی (i, j) و هشت نقطه همسایه اش در یک سیگنال دوبُعدی

نقاط کناری سیگنال (نقاط ابتدائی و انتهائی) دارای تعداد کمتری همسایه در کنار خود هستند. در این روش و بدون از دست دادن کلیت از هموار سازی این نقاط صرف نظر می کنیم. در اینجا برخلاف سیگنال‌های تک بُعدی انتساب یک زاویه مشخص به یک نقطه معین مرکزی تا حدودی مشکل است. چون در سیگنال های دوبُعدی تعداد زاویه بیشتری بین نقطه مرکزی و هشت همسایه کناری وجود دارد و جابجایی در نقاط همسایه می تواند منجر به تغییر در شکل تیزی نقطه مرکزی شود. **Error! Reference source not found.** تأثیر جابجایی نقاط همسایه را در شکل تیزی نقطه مرکزی به نمایش می گذارد.



شکل (۳) : جابجایی دومین با سومین و هفتمین با هشتمین نقطه و تأثیر آن در شکل تیزی نقطه مرکزی در مقایسه با شکل (۲)

۳- هموارسازی دوبُعدی (TDFS[1])

روش ارائه شده که با نماد TDFS نامیده شده است، برای هموارسازی سیگنالهای دوبُعدی که با هریک از انواع نویز ضربه مخدوش شده، طراحی شده است. در این روش از داده های صحیح باقی مانده در سیگنال آسیب دیده، برای بازیابی اطلاعات از دست رفته استفاده می شود. به عبارت بهتر ابتدا نقاط آسیب دیده شناسائی می شوند سپس آنها به کمک نقاط همسایه اصلاح می شوند. در حقیقت روش پیشنهادی دارای سه بخش اساسی است. با این توجه که نقاط متأثر از نویز در سیگنال‌های دوبعدی ویژگی پیچیده‌تری نسبت به فقط یک معیار ساده به نام تیزی دارند، در بخش اول ابتدا معیاری برای شناسائی نقاط آسیب دیده بدست می‌آوریم. در بخش دوم مجموعه فازی را تعریف می کنیم که در بردارنده میزان آسیب دیدگی نقاط آسیب دیده است. در واقع میزان آسیب دیدگی نقاط سیگنال با یکدیگر برابر نیست. بنابراین برای بالا بردن دقت اصلاح، نقاط مذکور به صورت مجموعه *فازی* درنظر گرفته می‌شود. در قسمت آخر روش پیشنهادی، بر اساس میزان تعلق نقاط آسیب دیده به مجموعه فازی مذکور، سهم مشارکت همسایگان در بازسازی نقطه آسیب دیده بدست آمده و نقطه مذکور بازسازی می شود.

فرض کنید $x_0(t, t')$ یک سیگنال دوبُعدی مرجع، $x(t, t')$ نسخه آسیب دیده با نویز از آن و $y(t, t')$ سیگنال فیلتر شده است. اجازه دهید صافی دوبعدی فازی خود را با نماد زیر نمایش دهیم:

$$y(t, t') = \mathbf{S}_{\mathrm{TDFS}}\{x(t, t')\} \qquad (10)$$

که $\mathbf{S}_{\mathrm{TDFS}}$ نشان دهنده الگوریتم پیشنهادی است و می‌توان آن را مشابه با R1 در قانون فازی زیر خلاصه کرد:

قانون R2: اگر تیزی سیگنال $x(t, t')$ در نقطه (t, t') بزرگ باشد، آنگاه مقدار آن با همسایگانش به اشتراک گذاشته می‌شود.

بنابر قسمت "اگر" از قانون فازی فوق، لازم است که تیزی سیگنال در تمام نقاط محاسبه شود. بخش اول و دوم از الگوریتم پیشنهادی بر

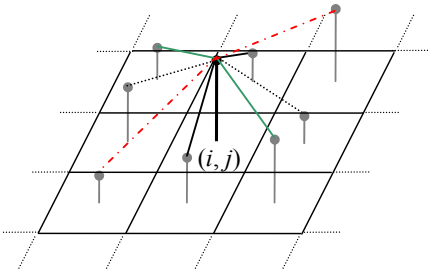
محاسبه شاخص تیزی در تمام نقاط سیگنال $x(t, t')$ و تشکیل مجموعه فازی *"نقاط تیز"* تمرکز دارد. برای اجرای قسمت "آنگاه" از قانون فازی R2، در بخش سوم از روش پیشنهادی نیز سهم مشارکت هر یک از همسایگان نقطه مرکزی در اصلاح مقدار نقطه مرکزی محاسبه می‌شود. در ادامه روش پیشنهادی با ذکر جزئیات تشریح شده است.

محاسبه زاویه سیگنال

در سیگنال‌های دوبعدی برای هر نقطه معین مرکزی هشت نقطه در همسایگی قابل تعریف است. شاخص تیزی در نقطه مرکزی وابسته به زاویه هایی است که نقطه مرکزی با هریک از هشت همسایه اش می‌سازد. تعداد زاویه‌هایی که در سیگنال دوبُعدی می‌توان برای یک نقطه معین مرکزی در نظر گرفت در مقایسه با سیگنال تک بُعدی بسیار بیشتر است. بنابراین محاسبه یک زاویه مشخص برای نقطه مرکزی در سیگنال های دوبُعدی در مقایسه با سیگنال‌های تک بُعدی مبهم و مشکل‌تر است. برای حل مشکل مذکور، با وجود امکان تعریف تعداد

$$28 = \sum_{i=1}^{7} i$$

زاویه مختلف در جایی مانند شکل (۴)، تنها از چهار زاویه که با نام زوایای قطری نام گذاری شده‌اند، برای محاسبه تیزی نقطه معین در موقعیت (i, j) استفاده خواهدشد. این چهار زاویه قطری می‌توانند مقدار تیزی در نقطه مرکزی را به‌خوبی به نمایش درآورند. **Error! Reference source not found.** این موضوع را بهتر نشان می‌دهد.



شکل (۴) : نقطه مرکزی و چهار زاویه قطری آن

فرض کنیم $x(i, j)$ مقدار سیگنال در نقطه مرکزی (i, j) باشد. برای محاسبه هریک از چهار زاویه قطری از همان رابطه (3) با جایگزینی زیرنویس‌های i و j برای t_k ها استفاده شده است. این رابطه با فرض دو مقیاس متفاوت برای ابعاد نقطه‌ها درتصویر، در زیر بازنویسی شده است.

$$\theta_{mn}(i,j) = \tan^{-1}\left(\frac{x(i,j) - x_m(i,j)}{d_m}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{x(i,j) - x_n(i,j)}{d_n}\right)$$

(11)

در اینجا، زیرنویس m که به مجموعه $\{1،2،3،4\}$ تعلق دارد نمایش دهنده چهار همسایه اول است و زیرنویس n که چهار همسایه آخر را شامل می‌شود، چنین تعریف شده است:

$$n = 9 - m \qquad (12)$$

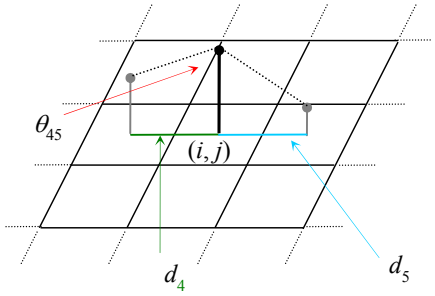
مقادیر x_m و x_n اطلاعات متعلق به رنگ (سه رنگ اصلی یا سطح رنگ[۲] خاکستری در تصاویر سیاه و سفید) هر یک از همسایگان دربر دارد. پارامترهای ثابت d_m و d_n فواصل نقطه مرکزی با همسایگانش را در دو بعد عرض و طول نشان می‌دهد. در حقیقت فاصله بین نقطه مرکزی و هر یک از همسایگان فاصله‌ای فرضی است؛ به‌طوریکه فواصل قطری می‌تواند $\sqrt{2}$ برابر بزرگتر از فواصل غیرقطری باشد:

$$d_1 = d_3 = d_6 = d_8 = \sqrt{2}\, d_2 \qquad (13)$$

دراین الگوریتم فاصله نقطه مرکزی و هریک از همسایگانش با هم برابر اما به‌صورت قابل تنظیم در نظر گرفته شده است. قابل تنظیم بودن این پارامتر می‌تواند با ایجاد آزادی عمل در تنظیم آن موجبات بهبود عملکرد روش پیشنهادی را فراهم آورد. توضیحات بیشتر در مورد پارامتر فاصله در ادامه آورده شده است. پس درحال حاضر فرض برآن است که:

$$d_m = d_n \;;\; m \in \{1, 2, 3, 4\}, n = 9 - m \qquad (14)$$

به عنوان نمونه، زاویه θ_{45} و فواصل مجازی مربوط به آن در شکل (۵) مشاهده می‌شوند.



شکل (۵) : زاویه θ_{45} و فاصله های مجازی آن (d_4, d_5)

پس از بدست آوردن چهار زاویه قطری برای نقطه مرکزی معین از سیگنال آسیب دیده، $x(t, t')$، لازم است یک زاویه مشخص به عنوان یک زاویه نماینده[۳]، به آن نقطه اختصاص یابد. بدین منظور از میانگین چهار زاویه قطری مذکور به عنوان زاویه سیگنال در هر نقطه مرکزی معین استفاده می‌شود:

$$\theta(i,j) = \frac{1}{4}\sum_{m=1}^{4}\theta_{mn}(i,j) \quad ; \quad n = 9 - m \tag{15}$$

که در آن $\theta_{mn}(i,j)$ نمایش دهنده یکی از چهار زاویه قطری برای نقطه مرکزی (i,j) است و $\theta(i,j)$ زاویه نماینده سیگنال در نقطه (i,j) است.

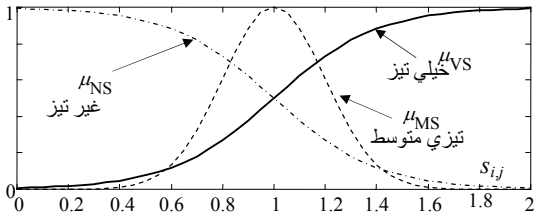
محاسبه شاخص تیزی

برطبق قسمت "اگر" از قانون فازی R2، در قسمت اول از روش پیشنهادی، باید شاخص تیزیِ سیگنال مخدوش شده، یعنی $x(t,t')$، که آن را با $s(i,j)$ نشان می دهیم، برای تمام نقاط محاسبه شود. در روش پیشنهادی این مقاله، شاخص تیزی نقطه مرکزی نشان دهنده میزان تاثیر نویز دراین نقطه است؛ بدین معنی که نقطه با شاخص تیزی بزرگتر، احتمالا انحراف بیشتری از اطلاعات صحیح دارد. پس انتظار داریم داده‌های سیگنال اصلی داده هایی با تغییرات به نسبت هموار باشد که نویز باعث ناهمواری بیشتر درآن شده است. برای داده های عادی تصاویر عموما چنین فرضی صادق است و تنها در برخی لبه های تیز این وضعیت قدری متفاوت است. اما شاخص تیزی مشابه با آنچه برای سیگنال‌های تک بعدی عمل شد، به صورت زیر محاسبه می شود:

$$s(i,j) = \cos\theta(i,j) + 1 \tag{16}$$

بنابراین، برای زاویه های کمتر از ۴۵ درجه شاخص تیزی نزدیک به عدد ۲ است و چنین نقاطی *نقاط خیلی تیز* محسوب می‌شوند. همچنین برای زوایای بیشتر از ۱۳۵ درجه، شاخص تیزی کوچک است و چنانچه زاویه به ۱۸۰ درجه نزدیک شود، شاخص به صفر میل می‌کند. این نقاط، *نقاط هموار* یا *غیر تیز* به شمار می‌آیند. برای زوایای نزدیک به ۹۰ درجه، شاخص تیزی درحدود ۱ است که آنها را می‌توان *نقاط دارای همواری* یا *تیزی متوسط* برشمرد. در حقیقت به کمک شاخص تیزی می‌توان درجه عضویت هر نقطه از سیگنال مخدوش شده $x(t,t')$ را درمجموعه‌های فازی *خیلی تیز*، *هموار* و *نقاط با تیزی متوسط* تعیین کرد. به این ترتیب، شاخص تیزی می‌تواند در تعیین حد آستانه برای ورود نقاط مخدوش شده به فرآیند هموارسازی کمک کند. علاوه براین تعیین میزان مشارکت نقاط همسایه در هموارسازی نقطه مرکزی نیز به کمک شاخص تیزی انجام می شود. **Error! Reference source not found.**) تابع عضویت سه مجموعه فازی ذکر شده، را نشان می‌دهد. در روش پیشنهادی تنها از مجموعه فازی *"نقاط خیلی تیز"* استفاده می‌شود. پس قانون فازی مورد استفاده در طراحی فیلتر هموارساز فازی چنین خواهد بود:

اگر نقطه مرکزی (با درجه عضویت بالایی) عضو مجموعه فازی *نقاط خیلی تیز* باشد، آنگاه مشارکت نقاط همسایه در بازسازی نقطه معین مرکزی بیشتر است.



شکل (۶) : تابع عضویت نمونه برای متغیرهای زبانی «خیلی‌تیز»، «متوسط» و «غیرتیز»

محاسبه ضریب مشارکت

برای اعمال بخش تالی (قسمت «آنگاه») از قانون فازی R2 باید سهم مشارکت نقاط همسایه در بازسازی نقطه مرکزی محاسبه شود؛ چراکه میزان مشارکت همسایگان در اصلاح و ترمیم نقطه مرکزی وابسته به شاخص تیزی در آن نقطه است. به عبارت بهتر، سهم مشارکت نقاط همسایه در بازسازی نقطه‌ای با شاخص تیزی بزرگتر، بیشتر است و برای نقاط با شاخص تیزی کمتر، سهم مشارکت نقاط همسایه در بازسازی نقطه مرکزی کمتر است.

با توجه به **Error! Reference source not found.**) می‌توان دریافت که برای نقاط تیز سهم مشارکت نقاط همسایه در بازسازی نقطه مرکزی باید نزدیک به یک باشد؛ یعنی در این حالت مشارکت کامل وجود دارد و برای نقاط غیرتیز نیازی به مشارکت نقاط همسایه در بازسازی نقطه مرکزی نیست و این مقدار نزدیک به صفر یا برابر با صفر است. برای بدست آوردن مقدار سیگنال هموار شده در هر نقطه (i,j) از رابطه زیر که در واقع یک متوسط گیری ساده وزنی است، استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} y(i,j) = (1/8)\eta[&x(i-1,j-1)+x(i-1,j)+x(i-1,j+1)\\ &+x(i,j-1)+x(i,j+1)+x(i+1,j-1)+x(i+1,j)\\ &+x(i+1,j+1)]+(1-\eta)x(i,j) \end{aligned} \tag{17}$$

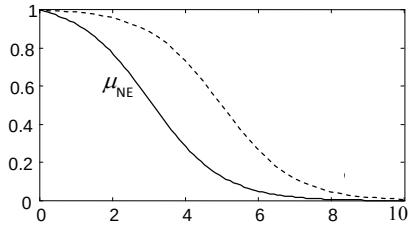
در رابطه فوق $y(i,j)$ مقدار اصلاح شدهٔ سیگنال مخدوش شده در نقطه (i,j) و η ضریب مشارکت نقاط همسایه در بازسازی نقطه مرکزی است. از (17) مشخص است برای نقاط تیزتر که ضریب مشارکت بزرگتری دارند، سهم نقاط همسایه در اصلاح نقطه مرکزی $y(i,j)$ بیشتر است. برای نقاطی که دارای ضریب مشارکت کوچکتری هستند سهم نقطه مرکزی در نقطه فیلتر شده $y(i,j)$ بیشتر است. رابطه (17) را می‌توان برای انجام ساده‌تر محاسبات به نحو زیر بازنویسی کرد:

$$y(i,j) = [x(i-1,j-1) + x(i-1,j) + x(i-1,j+1) + x(i,j-1) + \rho(i,j)x(i,j) + x(i,j+1) + x(i+1,j-1) + x(i+1,j) + x(i+1,j+1)] /(8+\rho(i,j))$$

(18)

که درآن $\rho(i,j)$ ضریب *انحصار* نامیده می‌شود و مقدار آن در بازه $[0, \infty)$ تغییر می‌کند. برای نقاط تیز، شاخص تیزی به عدد دو میل می‌کند. در همین حال، ضریب مشارکت به عدد یک و ضریب انحصار به عدد صفر میل می‌کند. در این شرایط نقاط همسایه سهم بیشتری در بازسازی نقطه مرکزی دارند و *مشارکت کامل* وجود دارد. همچنین برای نقاط غیر تیز، شاخص تیزی به عدد صفر میل می کند، ضریب مشارکت به عدد صفر و ضریب انحصار به بینهایت میل می‌کند. در چنین حالتی *انحصار کامل* است و نقطه مرکزی از سیگنال (تصویر) آسیب دیده سهم بیشتری در بازسازی آن نقطه در سیگنال اصلی دارد.

Error! Reference source not found.) دو نمودار نمونه را برای توابع عضویت متغیر زبانی «*غیرمنحصر*» نشان می‌دهد.



شکل (۷) : دو نمونه از توابع عضویت برای متغیر زبانی «غیرمنحصر»

با توجه به (18) قانون فازی R2 را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

قانونR3 : اگر نقطه (i,j) ام سیگنال $x(t,t')$ خیلی تیز است، آنگاه مقدار سیگنال فیلتر شده $y(t,t')$باید غیر منحصرباشد.

بیان ریاضی قانون فازی R3 چنین خواهدبود:

$$\text{R3}: s(i,j) \;\widetilde{\in}\; \text{VS} \rightarrow \rho(i,j) \;\widetilde{\in}\; \text{NE} \qquad i=\{2,3,\ldots,N_1-1\}; j=\{2,3,\ldots,N_2-1\} \qquad (19)$$

که در آن $\widetilde{\in}$ به معنای عضویت در مجموعه فازی است و دو پارامتر N_1 و N_2 نیز ابعاد سیگنال دوبُعدی هستند. همچنین نمادهای VS و NE برای نامگذاری مجموعه‌های فازی «بسیارتیز» و «غیرمنحصر» به کار رفته است.

اگر اجرای قانون فوق طبق رابطه (18) در بار اول با عبارت زیر نشان داده‌شود:

$$y^1(i,j) = \boldsymbol{S}_{\text{TDFS}}\{x(i,j)\} \qquad i=\{2,3,\ldots,N_1-1\}; j=\{2,3,\ldots,N_2-1\} \qquad (20)$$

چون طی بازسازی نقاط آسیب‌دیده تولید نقاط تیز جدید کاملا محتمل است [۴] ، اصلاح اندازه سیگنال در نقاط (i,j) به صورت زیر چندان تکرار می‌شود تا جایی‌که هیچ نقطه‌ای مشمول قانون مزبور نگردد.

$$y^{k+1}(i,j) = \boldsymbol{S}_{\text{TDFS}}\{y^k(i,j)\} \quad ; k = 0, 1, 2, \ldots \qquad (21)$$

بدیهی است درصورتیکه تابع عضویت در مجموعه فازی «بسیارتیز» همانند شکل (۶) برای تمام مقادیر تیزی تعریف شده باشد، تکرار اصلاح سیگنال آسیب دیده هرگز متوقف نخواهد شد. درنظر گرفتن یک معیار توقف مانند کوچک بودن مقدار تغییرات بین دو تکرار k و k+1 می‌تواند این مشکل را در این مرحله حل کند. همچنین تا اینجا ضریب مشارکت تمام همسایگان در بازسازی نقطه مرکزی با هم برابر فرض شده است که کارایی کافی به ارمغان نمی‌آورد. در ادامه نحوه اصلاح روش پیشنهادی ارائه می شود.

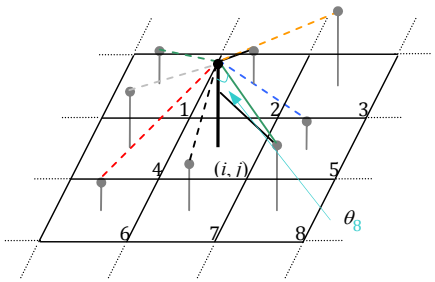
۴- اصلاح وساده‌سازی‌روش تکراری هموارسازی

در این بخش چند روش اصلاحی برای افزایش کارایی فیلتر هموارسازی پیشنهادی ارائه می‌شود. این اصلاحات با توجه به دو بعدی بودن و تکراری بودن روش پیشنهادی مطرح شده و توانایی فیلتر را که آن را TDMFS می‌نامیم، به مراتب بالا می‌برد.

تفکیک سهم مشارکت نقاط همسایه

چنانچه زوایای $\theta_m(i,j)$ برای هر هشت نقطه همسایه نقطه (i,j) به طور جداگانه محاسبه شوند، مشاهده می‌شود که ضرایب تیزی مربوط به این زوایا در مجاورت با نقطه مرکزی با هم متفاوتند، یعنی میزان تیزی سیگنال در نقطه مرکزی در جهت همسایگان آن باهم برابر نیست. برای درنظر گرفتن واقعیت مذکور باید سهم مشارکت هریک از هشت همسایه در بازسازی نقطه مرکزی بطور جداگانه محاسبه شود.

بنابراین بجای استفاده از چهار زاویه قطری برای محاسبه زاویه سیگنال در نقطه مرکزی، هشت زاویه ای که نقطه مرکزی با هریک از همسایگانش تشکیل می‌دهد، محاسبه و براساس تیزی متناظر با هریک از این زوایا سهم مشارکت هریک از نقاط در بازسازی نقطه مرکزی نیز جداگانه محاسبه شود.



شکل (۸) : هشت زاویه نقطه مرکزی در ارتباط با هریک از هشت همسایه اش

بنابراین رابطه (17) باید به شکل زیر اصلاح شود تا اثر هریک از همسایگان بطور جداگانه در اصلاح نقطه مرکزی منظور شود.

$$\begin{aligned} y(i,j) = (1/8)[&\eta_1 x(i-1,j-1) + \eta_2 x(i-1,j)... \\ &+ \eta_3 x(i-1,j+1) + \eta_4 x(i,j-1)... \\ &+ \eta_5 x(i,j+1) + \eta_6 x(i+1,j-1)... \\ &+ \eta_7 x(i+1,j) + \eta_8 x(i+1,j+1)]... \\ &+ \left(1 - \frac{1}{8}\sum_{m=1}^{8} \eta_m\right) x(i,j) \end{aligned} \qquad (22)$$

در رابطه فوق، هریک از ضرایب η_m سهم مشارکت هشت همسایه در بازسازی نقطه مرکزی است که از قانون فازی R3 و با فرض اندازه تیزی جداگانه برای هریک از زوایای مجاور با نقطه مرکزی به دست می‌آیند. زوایای مجاورمشابه با (11) طبق تعریف زیرمحاسبه می‌شوند:

$$\theta_m(i,j) = \tan^{-1}\left(\frac{x(i,j) - x_m(i,j)}{d_m}\right) \qquad (23)$$

شکل (۸) این تعریف را نشان می‌دهد. پیداست که این زوایا نسبت به تعریفی که برای زوایای $\theta_{mn}(i,j)$ طبق (11) گذشت، زوایای کوچکتری هستند (تقریبا نصف) و از این رو باید در تعریف توابع عضویت «تیز» برای آنها به این نکته توجه کرد.

اصلاح تابع عضویت تیزی

از آنجا که فیلتر TDFS برای هموارسازی سیگنال، تکرار می شود، وجود معیاری برای کنترل تعداد تکرار فیلتر TDFS ضروری است. برای این منظور تنها نقاطی وارد فرآیند هموارسازی می‌شوند که شاخص تیزی آنها از یک حد آستانه مشخص مانند σ_0 بیشتر باشد. بدین ترتیب گروه زیادی از نقاط بدون هیچ تغییری باقی می‌مانند. رابطه

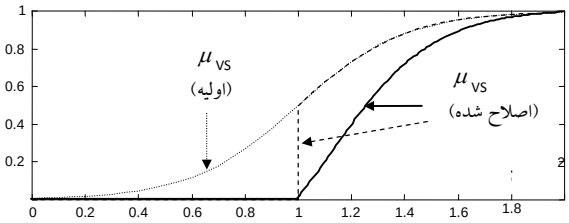
$$R3: s(i,j) \ \widetilde{\in}\ VS \rightarrow \rho(i,j) \ \widetilde{\in}\ NE$$

$$(19)\ i=\{2,3,\ldots,N_1-1\};\ j=\{2,3,\ldots,N_2-1\}$$

را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد :

$$R4: S(i,j) \ \widetilde{\in}\ VS \rightarrow \rho(i,j) \ \widetilde{\in}\ NE \quad \{\forall\ (i,j) \mid S(i,j) > \sigma_0\} \qquad (۲۴)$$

به این ترتیب، توانایی روش در حفظ داده‌های صحیح افزایش یافته است. از آنجا که در هر تکرار تنها درصدی از میزان صدمه دیدگی سیگنال اصلاح می‌شود، روش پیشنهادی باید تا زمانی که تمام شاخص-های تیزی به کمتر از حد آستانه کاهش یابد، تکرار شود. در واقع اعمال این حد آستانه کمک می‌کند تا معیاری برای کنترل تعداد تکرار روش فوق در دست باشد. این حد می‌تواند براساس انتظاری که از تیزترین لبه‌های سیگنال دوبعدی (تصویر) وجود دارد، تعیین شود. **Error! Reference source not found.** تابع عضویت اصلاح شده در این روش را نشان می‌دهد.



شکل (۹) : دو نمونه توابع عضویت اصلاح شده در مقایسه با تابع عضویت اولیه برای مجموعه «خیلی تیز» در شکل (۶)

اصلاح با متغیر در نظر گرفتن فاصله مجازی

در بخش (۰) بیان شد که برای محاسبه زاویه بین نقطه مرکزی و همسایگانش می‌توان یک فاصله مجازی بین دو نقطه از سیگنال درنظر گرفت. تفاوت این فاصله مجازی برای نقاط همسایگی در (14) ملاحظه شد. با این حال، طبق (15) یک فاصله مساوی برای محاسبه زاویه سیگنال درنظر گرفته شد. در این بخش، از فاصله مجازی مذکور بصورت متغیر و قابل تنظیم استفاده شده است. در واقع تغییر در فاصله مجازی باعث تغییر در مقیاسِ زاویه محاسبه شده می‌شود. به عبارت بهتر با تغییر فاصله مجازی می‌توان برای یک نقطه مشخص شاخص تیزی نقطه مذکور تغییر می کند.

اساس فیلتر TDFS بر استفاده از داده های صحیح برای بازسازی نقاط آسیب دیده قرار داد. بنابراین هرچه میزان داده‌های مخدوش نشده بیشتر باشد، عملکرد این فیلتر بهتر خواهد بود. تکنیکی که در روش TDFS از آن استفاده شده بهره بردن از فاصله مجازی برای افزایش میزان داده های صحیح در هر تکرارِ هموارسازی طبق

(21) است. به عبارت دیگر با افزایش فاصله مجازی، حساسیت فیلتر به نقاط با شاخص تیزی پایین، کم می‌شود و تنها نقاط خیلی تیز وارد فرآیند هموارسازی می‌شوند. برای اجرای این ایده فرض می‌شود فاصله مجازی به طور نمایی از یک مقدار اولیه شروع به تغییر کند، یعنی:

$$d^{k+1} = e^{-\gamma k} d^{k} \quad ; k = 0, 1, 2, \ldots \qquad (25)$$

که در آن γ یک پارامتر تنظیم سرعت تغییرات و مقدار آن ثابت است.

بنابراین، می‌توان ابتدا نقاط خیلی تیز را اصلاح کرد، سپس با استفاده از افزایش داده‌های صحیح، فرآیند هموارسازی با کاهش فاصله مجازی ادامه می‌یابد. نتایج بدست آمده با تغییر نزولی فاصله مجازی بهتر از نتایجی است که با یک فاصله مجازی ثابت بدست آمده است. در واقع فاصله مجازی متغیر این امکان را ایجاد می‌کند که نقاط مخدوش شده از نقاط خیلی تیز تا نقاط با تیزی کمتر به ترتیب و با اولویت هموار شوند.

یک راه حل جایگزین آن است که بدون نیاز به تغییر فاصله مجازی، ابتدا و پیش از تصحیح نقاط آسیب دیده، تمام نقاط به ترتیب اندازه تیزی مرتب شوند و اصلاح اندازه سیگنال در نقاط تیزتر پیش از سایر نقاط صورت پذیرد. از آنجا که در سیگنال‌های دوبعدی مرتب کردن کل داده ها فرایند زمان بری است، استفاده از تغییر فاصله مجازی روش سریع تری است.

۵- نتایج ارزیابی و مقایسه

کارایی هموارسازفازی پیشنهادی درنسخه تک بُعدی خود برای داده‌های متغیرهای اقتصادی و اجتماعی نشان داده شده است. دراینجا برای ارزیابی این روش از تصویر به عنوان متداول‌ترین سیگنال دوبُعدی بهره گرفته شده است. یک تصویر سیاه سفید مانند I را می‌توان به عنوان یک آرایه دوبُعدی در نظر گرفت:

$$I = [I(i,j)]_{N1 \times N2} \qquad (26)$$

که $I(i,j)$ نشان دهنده سطوح خاکستری نقاط (پیکسل‌های)[۴] تصویرِ I است. برای تصاویر سیاه و سفید با ۲۵۶ سطح خاکستری، $I(i,j)$ یک عدد صحیح است که به بازه [۰ ، ۲۵۵] تعلّق دارد. در تصاویر رنگی کمی تفاوت وجود دارد. در واقع تصاویر رنگی را می‌توان به عنوان داده‌های سه بُعدی در نظر گرفت که دو بُعد اول آن مانند تصویر سیاه و سفید، سطوح هر رنگ را مشخص می‌کند و بُعد سوم در بردارند اطلاعات یکی از سه جزء رنگی اصلی (قرمز، سبز، آبی[۵]) است:

$$I = [I(i,j)]_{N1 \times N2 \times 3} \qquad (27)$$

برای پیاده سازی این روش بر تصاویر رنگی، به جای یک آرایه سه بعدی، داده های تصاویر رنگی به صورت سه آرایه دوبُعدی I_R ، I_G و I_B درنظر گرفته‌شده و الگوریتم برروی داده های آرایه مربوط به هر جزء رنگی، به ترتیب قرمز، سبز و آبی به طور جداگانه اجرا می شود:

$$I_C = [I_R(i,j)]_{N1 \times N2} + [I_G(i,j)]_{N1 \times N2} + [I_B(i,j)]_{N1 \times N2} \qquad (28)$$

شکل (۱۰) مطلوبیت عملکرد این صافی اصلاح شده را روی تصویر نمونه به ابعاد ۶۴۰ × ۶۴۰ که با نویز ضربه به مقدار ۵۰٪ آمیخته شده است، نشان می‌دهد.

برای بدست آوردن مقیاس عددی و مقایسه عملکرد فیلتر پیشنهادی با روش های دیگر از معیار نسبت سیگنال به نویز، $PSNR$[۶]، استفاده شده است:

$$PSNR = 10\ log_{10} \frac{S^2}{MSE} \qquad (29)$$

که در آن MSE[۷] متوسط مربعات خطا و برابر است با:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} [z(i,j) - y(i,j)]^2}{N_1 \times N_2} \qquad (30)$$

الف) تصویر اصلی ب) تصویر آغشته به نویز ضربه ۵۰٪

ج) تصویر هموارشده با TDFS د) تصویر هموارشده با TDMFS

شکل (۱۰) : نتایج حاصل از اعمال دو هموارساز فازی TDMFS و TDFS بر تصویر نمونه ۶۴۰ × ۶۴۰ که با ۵۰٪ نویز ضربه آغشته شده است

برای محاسبه مربعات خطا، سیگنال اصلی، $z(i,j)$ ، با سیگنال هموار شده، $y(i,j)$، مقایسه می‌شود. به علاوه، S حداکثر مقدار دامنه سیگنال است که در اینجا و برای سیگنال تصویر برابر با عدد ۲۵۵ است. بدیهی است بالاتر بودن معیار $PSNR$ به دلیل آنکه برای مقایسه نتایج اعمال فیلتر هموارساز فازی TDMFS با سایر روش‌ها، نیاز به نتایج

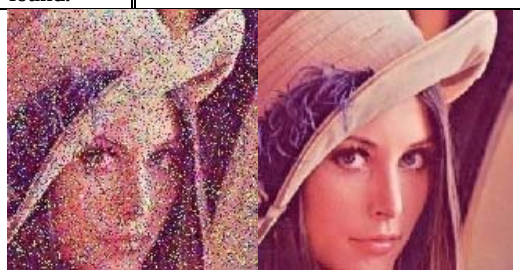
اعمال آنها بر یک تصویر مشترک وجود دارد، تصویر مشهور **Lena** با ابعاد ۲۵۶×۲۵۶ به خاطر کثرت استفاده از آن، برای آزمایش بکار رفته است.

نتایج اعمال هموارسازی فازی پیشنهادی با هر دو روش اولیه و اصلاح شده بر تصویر مزبور که با ۵ تا ۳۰ درصد نویز فلفل – نمک آغشته شده در جدول (۱) با تعدادی از مهم ترین و جدید ترین روش-های موجود مقایسه شده است. یادآور می شود که نویز به هر سه رنگ اضافه شده است. نتایج بدست آمده عملکرد بهتر فیلتر اصلاح شده (TDMFS) را در مقایسه با بسیاری از فیلترهای دیگر نشان می دهد.

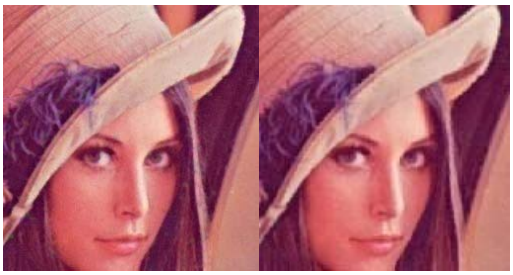
شکل (۱۱) نیز نتایج دیداری عملکرد روش پیشنهادی را نشان می-دهد. نتایج بدست آمده، قدرت هموارسازیِ روش فوق را علی رغم سادگی آن، تائید می کند.

جدول (۱): مقایسه معیار *PSNR* برای چگالی نویزهای مختلف بین روشهای پیشنهادی TDMFS ، TDFS با تعدادی از دیگر روش‌ها

Filter Name	Noise Density			
	5%	10%	20%	30 %
Noisy Image	18.2	15.2	12.1	10.3
TDMFS	37.4	34.4	31.6	29.7
TDFS	37.1	33.4	29.8	27
[۱۱]AWFM	31.6	31.3	30.6	29.4
[۱۲]HAF	29.7	29.4	29.0	28.5
PWLFIRE [۱۳]	37.2	30.6	22.9	18.2
DSFIRE [۱٤]	35.9	34.2	30.8	25.9
[۳]SFCF	29.6	28.3	24.6	20.5
Fuzzy Median	36.1	33.1	28.6	23.8
TSM **Error! Reference source not found.**	37.0	33.4	28.1	23.1



تصویر همراه ۲۰ درصد نویز "فلفل و نمک" تصویر بدون نویز



تصویر فیلتر شده با TDMFS تصویر فیلتر شده با TDFS

شکل (۱۱) : نتایج دیداری بدست آمده از دو فیلتر TDMFS و TDFS برای چگالی نویز ۲۰ درصد تصویر لنا به ابعاد ۲۵۶ × ۲۵۶

۶- نتیجه

در این مقاله یک الگوریتم ساده و درعین حال مؤثر برای هموارسازی سیگنال‌های دوبُعدی آغشته به نویز ارائه شد. در این روش نقطه آسیب دیده، به وسیله مشارکت همسایگان آن نقطه در اندازه داده ها اصلاح می‌شود. این روش از سه مرحله محاسبات تشکیل شده است. در مرحله اول شاخص تیزی تمام نقاط سیگنال محاسبه می‌شود. در گام بعدی نقاط «*خیلی تیز*» شناسائی و مقدار عضویت آن ها در یک مجموعه فازی تعیین می‌شود. در مرحله آخر داده‌های نقاط عضو مجموعه مزبور متناسب با میزان تیزی که درحقیقت شاخصی از میزان آسیب دیدگی آن هاست، با مشارکت داده‌های متعلق به همسایگان اصلاح می‌شوند.

نتایج عددی و نتایج دیداری به دست آمده از فیلتر پیشنهادی TDMFS در مقایسه با سایر فیلترها نشان دهنده مقبولیت الگوریتم پیشنهادی در عین سادگی آن است.

تقدیر و تشکر

این طرح با حمایت مالی دانشکده فنی دانشگاه تهران (طرح شماره ۸۱۰۹۹۲۳/۱/۰۱) اجرا شده است. به علاوه لازم است از دانشکده فنی دانشگاه شاهد و آقای دکتر حسین کاظمی نیزکه با اختصاص موضوع پایان نامه آقای مهندس مجتبی عربی به این طرح پژوهشی موافقت کردند، تشکر شود.

مراجع

[۱] Stanley F. Chen, Ronald Rosenfeld, *A Gaussian Prior for Smoothing Maximum Entropy Models*, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, February 1999. (Available on-line at: http://reportsarchive.adm.cs.cmu.edu/anon/1999/CMU-CS-99-108.pdf)

[۲] HiRoaki Ishii, Akira Taguchi, Mototaka Sone, The edge detection from images corrupted by mixed noise using fuzzy rules, IX European Signal Processing Conference, September 8 - 11, 1998.

[۳] F. Farbiz, M.B. Menhaj, S.A. Motamedi, M.T. Hagan, "*A New Fuzzy Logic Control Based Filter for Image Enhancement*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, Vol. 30(1), Feb. 2000, pp. 110-119.
[۴] Rong Chung Chen, Pao-Ta Yu, *Nonlinear Filter Design Based on Fuzzy Inference Rules for Image Processing*, IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing (NSIP97), Mackinac Island, Michigan, USA, Sept. 1997.
[۵] H. Shakuri. G and M.B. Menhaj, "A Single Fuzzy Rule to Smooth the Sharpness of Mixed Data: Time & Frequency Domains Analysis", Fuzzy Sets and Systems, 159 (2008) 2446 – 2465.
[۶] F. Sahba, H.R. Tizhoosh, M.M. Salama, *A coarse-to-fine approach to prostate boundary segmentation in ultrasound images*, Bio-Medical Engineering On-Line, 2005, (Available on-line at: http://www.biomedical-engineering-online.com/content/4/1/58)
[۷] F. Sahba, H.R. Tizhoosh, M.M. Salama, *A New technique for Adaptive fuzzy image enhancement for edge detection*, International workshop on multidisciplinary image, video and audio retrieval and mining, Sherbrooke, Canada, 2004
[۷]R. Lukac, K.N. Plataniotis, B. Smolka, A.N. Venetsanopoulos, *cDNA micro-array image processing using fuzzy vector filtering framework*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 152, No. 1, May 2005, pp. 17-35.
[۸]H. Shakouri G., M. Rastad, J. Nazarzadeh, *A Hybrid Nonlinear Model for Maximum Simultaneous Electric Power Demand*", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.21, No.3, Aug. 2006, pp. 1069-1078.
[۹]R. Caponetto, L. LoBello, O. Mirabella, Fuzzy Traffic Smoothing: Another Step towards Statistical Real-Time Communication over Ethernet Networks, 1st Internet workshop on Real-Time LANs in the Internet Age (RTILA'02), Tech. Univ. of Vienna, Austria, 2002.
[۱۰] Dimitri Van De Ville, Mike Nachtegael, Dietrich Van Der Weken, Etienne E. Kerre, Wilfried Philips, Ignace Lemahieu Senior, *Noise Reduction by Fuzzy Image Filtering,* IEEE Trans. on Fuzzy System, Vol. 11, No. 4, August 2003.
[۱۱]Yau-Hwang Kuo, Chang-Shing Lee, Chao-Lieh Chen, "High-stability AWFM filter for signal restoration and its hardware design", Fuzzy Sets and Systems, No. 114, 2000, pp. 185-202.
[۱۲]Jung-Hua Wang, Hsien-Chu Chiu, "HAF: an Adaptive Fuzzy Filter for Restoring Highly
Corrupted Images by Histogram Estimation", *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A),*Vol. 23, No. 5, 1999, pp. 630-643
[۱۳]F. Russo, "Fire operators for image processing", *Fuzzy Sets and Systems*, 103(2):265–275, April 1999.
[۱۴]F. Russo and G. Rumponi, "Removal of impulse noise using a fire filter", IEEE Transactions on Image Processing, 1:975–978, 1996.
[۱۶]K. M. T.Chen and L. Chen, "Tri-state median filter for image, de-noising", *IEEE Transactions on Image*

[1] Two-Dimensional Fuzzy Smoothing
[2] Gray Level
[3] Proxy
[4] Pixel
[5] RGB (Red, Green, Blue)
[6] Peak Signal-to-Noise Ratio
[7] Mean Square Error