Archive of SID

بازسازی مؤثر تصاویر دیجیتال با استفاده از تبدیل‌های چند مقیاسی، آستانه گذاری و ترکیب نتایج

شیدا افضلی فرد[۱]، محمد قاسم‌زاده[۲]، محمدتقی صادقی[۳]

[۱] گروه کامپیوتر، پردیس مهندسی، دانشگاه یزد، sheidaafzaly@stu.yazd.ac.ir

[۲] دانشیار گروه کامپیوتر دانشگاه یزد و محقق میهمان در HPI، آلمان، mohammad.ghasemzadeh@guest.hpi.de

[۳] استادیار گروه مخابرات، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد، m.sadeghi@yazd.ac.ir

چکیده

یکی از مسائل مهم در تصاویر دیجیتال، بهبود کیفیت تصویر از طریق نویز زدایی است. با وجود تحقیقات و موفقیت‌های گسترده در این زمینه، هنوز رغبت زیادی برای کشف روش‌های مؤثر جدید وجود دارد. در این مقاله یک راه‌حل جدید مبتنی بر به‌کارگیری تبدیل‌های چند مقیاسی ویولت، کرولت و ویولت هدایتگر و به دنبال آن انجام آستانه گذاری و نهایتاً ترکیب نتایج، پیشنهاد می‌گردد. روش پیشنهادی در محیط نرم‌افزاری متلب و با استفاده از جعبه ابزارهای موجود پیاده‌سازی گردیده است. عملکرد این روش بر روی تصاویر سطوح خاکستری استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر مورد آزمایش، صحنه‌هایی با جزئیات کم، متوسط و زیاد را شامل می‌شوند. نتایج حاصل، با لحاظ نمودن معیار «پیک نسبت سیگنال به نویز»، تجزیه و تحلیل شدند. نسبت یاد شده برای تصویر به دست آمده از روش ترکیبی پیشنهادی، بیشتر از نسبت مورد نظر برای تصاویر حاصل از هر تبدیل به تنهائی می‌باشد. از آنجا که اجرای هر یک از تبدیل‌ها، ضمن ایجاد بهبود، یک اثر تصنعی نیز از خود به‌جای می‌گذارند، می‌توان چنین استنباط نمود که ترکیب نتایج، به نوعی در راستای رفع این آثار تصنعی عمل می‌کند و منجر به کسب نتایج بهتری می‌گردد. تصاویر بدست آمده، از نظر بصری نیز نشان از رفع هر چه بیشتر نویز دارند.

واژه‌های کلیدی

نویز زدایی، آستانه گذاری، تبدیل ویولت، تبدیل کرولت، تبدیل ویولت هدایتگر

۱- مقدمه

نویز در تصویر به‌عنوان یک سیگنال تصادفی شناخته می‌شود که منجر به تغییر شدت روشنایی و توزیع پیکسل‌ها در تصویر شده و جزئیات زیادی از تصویر را مبهم می‌کند. انواع مختلفی از نویز وجود دارد که هرکدام تابع چگالی احتمال خود را دارند. شایع‌ترین نویزهایی که در تصاویر دیجیتال وجود دارند عبارتند از: نویز گوسی، نویز گاما، نویز نمایی، نویز یکنواخت و نویز ضربه‌ای. اغلب نویزها در حین تصویربرداری به دلیل نقص حسگرها و یا خطای انتقال کانال در تصاویر ایجاد می‌شوند. به‌طور مثال نویز گوسی در تصاویر، در مرحله تصویربرداری توسط حسگر تصویر به واسطه شدت نور ضعیف و یا دمای بالا تولید می‌شود و یا در فرآیند انتقال تصویر به‌واسطه بردهای الکترونیکی ایجاد می‌شود[۱].

حذف نویز یک مسئله مهم در پردازش تصاویر است که می‌تواند در حوزه مکان و یا فرکانس انجام شود. با استفاده از تبدیل‌های چند مقیاسی، می‌توان تصویر را به حوزه‌های دیگر انتقال داده و سپس نویز زدایی انجام شود. فیلترهای حوزه مکان به‌طور مؤثری برای حذف انواع مختلف نویز در تصاویر دیجیتال بکار برده می‌شوند. این فیلترها با اعمال یک سری عملیات از پیش تعیین شده روی هر پیکسل و تعدادی از پیکسل‌ها که در همسایگی آن قرار دارند، انجام می‌شود. در فیلترهای حوزه فرکانس نیز با انجام اصلاحاتی روی مولفه‌های فرکانسی تصویر و سپس بدست آوردن تبدیل معکوس، فرآیند نویز زدایی انجام می‌شود.

در استفاده از تکنیک‌های حذف نویز باید در نظر گرفته شود که تعامل مناسبی بین کاهش نویز و حفظ محتویات واقعی تصویر برقرار شود به‌نحوی- که محتویات مربوطه بهتر تشخیص داده شود. برای مثال فیلترهای مکانی پایین گذر اگرچه نویز را هموار می‌کنند ولی اغلب لبه‌ها را هم مات می‌کنند، و یا فیلترهای بالاگذر می‌توانند لبه‌ها را تیزتر کنند و وضوح مکانی را بهبود بخشند اما پس‌زمینه نویزی را هم تقویت خواهند کرد[۲].

www.SID.ir

Archive of SID

در دو دهه‌ی گذشته فعالیت زیادی در توسعه‌ی ابزارهای جدید ریاضی و محاسباتی بر اساس ایده‌های چند مقیاسی[1] انجام شده‌است. در علوم اطلاعات به‌ویژه پردازش سیگنال، توسعه تبدیل ویولت و ایده‌های مرتبط با آن، منجر به ایجاد ابزارهای مناسبی جهت کاوش در پایگاه داده‌های بزرگ، انتقال پرسرعت داده‌های فشرده‌شده و حذف نویز از سیگنال‌ها و تصاویر شده است. همچنین از این تیدیل برای شناسایی ویژگی‌های ناپایدار بسیار مهم در مجموعه داده‌ها استفاده می‌شود[۳].

تبدیل ویولت به خاطر توانایی حفظ اطلاعات محلی مکان-فرکانس یک ابزار آنالیز چند دقتی[2] محبوب در پردازش تصویر و بینایی ماشین است. در طول چند دهه‌ی گذشته به دنبال ویولت، ابزارهای چند دقتی دیگری مانند کرولت نیز توسعه یافته‌است. تبدیل کرولت برای نمایش مؤثرتر لبه‌ها و تکین-های دیگر در طول منحنی‌ها موجود در تصویر، طراحی شده است[۴].

در ادامه یک مرور کلی بر نویززدایی بوسیله‌ی آستانه‌گذاری در حوزه‌های ویولت، کرولت و ویولت هدایت‌گر در بخش ۲ خواهیم داشت. شرح روش ترکیبی بکار رفته برای کاهش نویز تصاویر و نتایج آن در بخش ۳ بیان شده و در بخش آخر نتیجه‌گیری کلی عنوان شده‌است.

۲- نویززدایی با روش آستانه‌گذاری

در میان روش‌های زیادی که برای حذف انواع نویز تصویر استفاده می‌شود، آستانه گذاری یکی از مهم‌ترین روش‌ها به شمار می‌رود. اساس کار الگوریتم-های آستانه گذاری به این شکل است که ابتدا تصویر با اعمال تبدیل موردنظر مانند ویولت و یا کرولت به دامنه‌ی موردنظر انتقال یافته و به‌صورت یک مجموعه ضرایب نمایش داده می‌شوند. سپس با تعیین یک مقدار سطح آستانه‌ی مناسب، ضرایب کوچک‌تر از آستانه به سمت صفر مقداردهی می شوند. درنهایت با استفاده از تبدیل معکوس تصویر به دامنه‌ی اولیه‌ی خود باز می‌گردد. در ادامه ابتدا بحث نویز زدایی به روش آستانه‌گذاری به طور جداگانه در سه حوزه‌ی ویولت، کرولت و ویولت هدایتگر[3] مطرح می‌شود و سپس نتایج حاصل از ترکیب سه نتیجه بدست آمده بررسی می‌گردد.

۲-۱- نویززدایی در حوزه‌ی ویولت

نویز زدایی مبتنی بر ویولت یکی از روش‌های مهم در زمینه‌ی کاهش نویز است. ویولت یک توانایی ذاتی برای نمایش تصویر به شکل تنک دارد که این اساس نویز زدایی‌های مبتنی بر ویولت از طریق آستانه‌گذاری است. کارهای اولیه در آستانه‌گذاری ضرایب ویولت در [۵] یافت می‌شود.

تبدیل ویولت گسسته می‌تواند یک تصویر را به فرم یک سری از ضرایب تجزیه کند. مقادیر ضرایب کوچک اغلب به‌وسیله‌ی نویز چیره شده‌اند در حالی‌که ضرایب با مقادیر بزرگ حاوی اطلاعات سیگنال بیشتری نسبت به نویز هستند. از این‌رو جایگزینی ضرایب نویزی کوچک‌تر از یک مقدار آستانه-ی معین با صفر منجر به کاهش نویز تصویر می‌شود[۶]. مشکلی که در این روش وجود دارد این است که لبه‌ها باعث ایجاد تعداد بسیار زیادی ضرایب کوچک، کمتر از مقدار آستانه می‌شوند که صفر نیستند. حذف این ضرایب ویولت منجر به ایجاد آثار تصنعی[4] در تصویر حاصل شده که این آثار به‌صورت نوسانات کوچکی (پدیده‌ی گیبس مانند[5]) در نزدیکی لبه‌ها ظاهر می-شود[۷].

یکی از نکات مهم در بحث آستانه گذاری ویولت انتخاب آستانه مناسب است که چگونگی انتخاب این مقدار منجر به ایجاد روش‌های متنوعی در آستانه‌گذاری شده است. در این پژوهش از دو روش Neigh Shrink Sure و Bivariate Shrinkکه کارایی نسبتاً خوبی دارند استفاده می‌شود.

روش Neigh Shrink Sure نسخه‌ی بهبودیافته از Neigh Shrink است که یک الگوریتم نویز زدایی کارآمد مبتنی بر ویولت است. در این روش آستانه‌ی بهینه و اندازه پنجره‌ی همسایگی با استفاده از تخمین ریسک بدون انحراف استین (SURE[6]) بدست می‌آید[۸]. روش Bivariate Shrink نیز یک تابع انقباض[7] است که در آن یک وابستگی آماری بین ضرایب ویولت و منابع آنها در نظر گرفته می‌شود که منجر به بهبود نتایج در نویز زدایی تصاویر می‌شود[۹].

۲-۲- نویز زدایی در حوزه‌ی کرولت

Candes و Donoho [۱۰] در سال ۲۰۰۰ یک تبدیل هندسی چندمقیاسی جدید به نام کرولت ارائه دادند که نمایش تنک بهینه‌ای از یک سیگنال تولید می‌کند. عناصر سوزنی شکل این تبدیل حساسیت و ناهمسانگردی[8] هدایتی بسیار بالایی دارند. این تبدیل لبه‌ها و تکین‌ها را در امتداد منحنی‌ها بسیار مؤثرتر از تبدیل ویولت سنتی نمایش می‌دهند[۱۱].

در سال ۲۰۰۲ اولین نسل تبدیل کرولت، توسط Stack Candes, و همکارانش برای نویز زدایی تصویر استفاده شد و بعد از اینکه دومین نسل تبدیل کرولت به‌طور مؤثر در سال ۲۰۰۴ ارائه شد، کاربرد کرولت به‌طور سریع در زمینه‌های زیادی شامل نمایش، نویز زدایی و طبقه‌بندی تصویر و ویدئو افزایش یافت. Ma و Plonka دو مدل مختلف برای نویز زدایی تصویر با ترکیب تبدیل کرولت گسسته و طرح انتشار غیر خطی ارائه دادند که در اولین مدل یک انقباض کرولت به داده‌های نویزی اعمال می‌شود و نتیجه بعداً به‌وسیله‌ی انتشار واریانس کل پیش بینی‌شده، پردازش می‌شود تا آثار گیبس مانند از بین بروند. در دومین مدل، یک معادله‌ی انتشار غیرخطی استفاده می‌شود و انقباض کرولت برای فرآیند انتشار بکار می‌رود[۱۲].

همان‌طور که ذکر شد در آستانه‌گذاری مبتنی بر ویولت نوسانات ناهمواری در امتداد لبه‌ها مشاهده می‌شود که به دلیل توانایی ضعیف ویولت

---

1 - Multiscale

2 - Multiresolution

3 - Steerable Wavelet

4 - Artifact

5 - Pseud-Gibbs

6 - Stein's Unbiased Risk Estimate

7 - Shrinkage

8 - Anisotropy

www.SID.ir

Archive of SID

در حفظ تکین‌های خط است. اگرچه کرولت در بازیابی لبه‌ها و نمایش ویژگی‌های خمیده شکل‌ها مؤثرتر است ولی همچنان از آثار گیبس مانند و منحنی شکل رنج می‌برد.

۳-۲- نویز زدایی در حوزه‌ی ویولت هدایتگر

تبدیل ویولت هدایت‌گر یک تجزیه خطی چند مقیاسی تصویر است که اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط Simoncelli و همکاران [۱۳و۱۴] معرفی شد. ویژگی شاخص این تبدیل این است که توابع پایه‌ی آن می‌توانند با تشکیل ترکیب خطی مناسب از اجزای اصلی ویولت جهت‌دار، به هر جهت چرخش داشته باشند. این باعث می‌شود که این تبدیل برای طراحی الگوریتم‌های مبتنی بر ویولت، مفید بوده و اطلاعات جهت‌دار کاملی فراهم کند[۱۵].

در حقیقت هرم هدایت‌گر، یک نمایش شبه موجک است که توابع آنالیز آن، نسخه‌های وسیع‌تر و چرخش یافته از یک موجک تک جهته هستند. هدایت شوندگی به این خاصیت اشاره دارد که موجک‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن می‌توانند به هر جهت چرخش داشته باشند که این امر از طریق تشکیل ترکیب خطی از یک مجموعه اولیه از اجزای موجک جهت‌دار با زوایای مساوی، انجام می‌شود. این ویژگی، مکانیزم قدرتمندی برای تطبیق تبدیل با ویژگی‌های محلی تصویر، از طریق هدایت کردن توابع پایه در جهت پاسخ ماکزیمم فراهم می‌کند. این مفهوم برای تجزیه و تحلیل تصویر بسیار ارزشمند است [۱۶]. از این‌رو تبدیل ویولت هدایتگر در کاربردهای زیادی مانند تشخیص الگوی جهت [۱۷]، حذف نویز [۱۸]، بهبود تصویر[۱۹و۲۰] استفاده می‌شود.

همچنین در زمینه‌ی نویز زدایی در این حوزه می‌توان به کارهای انجام‌شده توسط Bharath and Ng [۲۱] و Ehsaeyan [۲۲] اشاره کرد.

۳- شرح روش پیشنهادی

در این مقاله برای کاهش نویز تصویر از روش آستانه گذاری در سه حوزه ویولت، ویولت هدایت‌گر و کرولت استفاده می‌شود و سپس نتایج بدست آمده در هر حوزه با هم ترکیب می‌شوند. ترکیب نتایج تا حد بسیار زیادی باعث جبران آثار مخربی می‌شود که با آستانه گذاری در هر حوزه در تصویر ایجاد می‌شود.

نویز موجود در تصویر نمونه، نویز سفید گوسی است که معمول‌ترین نوع نویز است و می‌تواند با استفاده از فرمول زیر تولید شود:

$$Y = X + \mathrm{sqrt}(\mathrm{varianc}) * \mathrm{random}(s) + \mathrm{mean} \qquad (1)$$

که X تصویر ورودی، Y تصویر خروجی و s اندازه تصویر است. مقدار میانگین و واریانس به‌عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود که در اینجا میانگین را صفر و واریانس را متغیر در نظر می‌گیریم.

آستانه گذاری در حوزه‌ی ویولت، توسط دو روش Neigh Shrink Sure و Bivariate Shrink انجام گرفته است. برای نویز زدایی تصویر با استفاده از تبدیل ویولت هدایت‌گر و تبدیل کرولت نیز ابتدا زیرباندهای تصویر را تحت این تبدیل‌ها بدست آورده و سپس با اعمال آستانه گذاری در این زیرباندها، ضرایب کوچک، که عمدتاً دربرگیرنده اطلاعات نویز تصویر هستند را حذف می‌کنیم.

مقدار آستانه در هر حوزه، به‌صورت تجربی، ضریبی از سیگمای نویز در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش، برای بدست آوردن سیگمای تصویر نویزی ورودی، از روش بکار رفته در [۲۳] که تقریب نسبتاً دقیقی از سیگما را محاسبه می‌کند استفاده می‌شود.

۳-۱- معیار ارزیابی کیفیت

کیفیت نتایج بدست آمده از اعمال روش‌های نویز زدایی به‌وسیله‌ی معیار پیک نسبت نویز به سیگنال ارزیابی می‌شود که با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{PSNR} = 10\log10\ (255)^2/\mathrm{MSE}\ (\mathrm{db}) \qquad (2)$$

MSE میانگین مربعات خطا بین تصویر اصلی و تصویر بازسازی‌شده است و از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\mathrm{MSE} = 1\Big/\mathrm{mn}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\|I_o(i,j) - I_r(i,j)\|^2 \qquad (3)$$

که I_o تصویر اصلی، I_r تصویر بازسازی‌شده، m و n ابعاد تصویر است.

۳-۲- نتایج آزمایش

روش‌های آستانه‌گذاری ذکرشده بر روی چند تصویر با سطوح خاکستری که به طور معمول استفاده می‌شود، اعمال شده و نتایج بدست آمده برحسب معیار PSNR برای سطوح نویز مختلف در هر حوزه در جدول ۱ مشخص شده است. همچنین تصاویر حاصل از روش‌های اعمال شده بر تصاویر نمونه با سیگمای نویز ۴۰ در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اگرچه اعمال روش‌های نویز زدایی مذکور منجر به کاهش نویز و بهبود کیفیت تصویر شده است ولی آثار تصنعی نیز در تصویر به‌وجود آمده است که نشان‌دهنده‌ی ضعف‌های موجود در هر روش آستانه‌گذاری است.

در ادامه، مطابق روش پیشنهادی در این پژوهش، ترکیب نتایج حاصل از چهار روش آستانه‌گذاری مورد بحث (دو روش در حوزه ویولت، ویولت هدایت‌گر و کرولت) مورد توجه گرفت. برای این منظور میانگین چهار تصاویر خروجی مربوطه محاسبه و به عنوان تصویر نهایی درنظر گرفته شد. نتایج حاصل از ترکیب نتایج نیز، در جدول ۱ و شکل ۱ گزارش شده است.

۴- نتیجه‌گیری

با ترکیب نتایج حاصل از روش‌های آستانه‌گذاری در حوزه‌های ویولت، ویولت هدایت‌گر و کرولت کیفیت فرآیند نویززدایی از تصاویر، بهبود قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به هر روش به تنهائی حاصل شد. همچنین آثار تصنعی موجود در نتایج هر روش، در تصاویر ترکیبی مشاهده نمی‌شود.

می‌توان چنین استنباط نمود که با ترکیب نتایج، نقاط قوت هر تبدیل به نوعی منجر به جبران نقاط ضعف تبدیل‌های دیگر شده است و در نتیجه منجر به رفع آثار تصنعی به‌جامانده در هر روش، می‌گردد. برای مثال توانایی تبدیل کرولت در نمایش خطوط و منحنی‌ها، باعث نمایش بهتر لبه‌ها و زدودن آثار گیبس مانند ایجاد شده توسط تبدیل ویولت می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: PSNR بدست آمده در روش‌های نویز زدایی برای سه تصویر نمونه با سیگماهای متفاوت

	Noisy Image	Neigh Shrink SURE	Bivariate Shrinkage	Curvelet Thresholding	Steerable Thresholding	Combined Result
Lena						
σ=20	۲۲.۱۱	۳۱.۸۵	۳۱.۴۵	۳۱.۲۲	۲۹.۷۴	۳۳.۷۳
σ=40	۱۶.۰۹	۲۸.۵۴	۲۸.۲۲	۲۸.۲۷	۲۷.۵۰	۳۰.۵۱
σ=50	۱۴.۱۵	۲۷.۵۶	۲۷.۲۵	۲۷.۲۲	۲۶.۷۶	۲۹.۵۵
σ=70	۱۱.۲۴	۲۶.۰۴	۲۵.۸۳	۲۵.۶۴	۲۵.۵۱	۲۸.۰۳
σ=100	۸.۱۲	۲۴.۴۹	۲۴.۴۵	۲۴.۱۰	۲۴.۰۱	۲۶.۵۸
Cameraman						
σ=20	۲۲.۱۱	۳۱.۸۵	۳۱.۴۵	۳۱.۲۲	۲۹.۷۴	۳۳.۷۳
σ=40	۱۶.۰۹	۲۸.۵۴	۲۸.۲۲	۲۸.۲۷	۲۷.۵۰	۳۰.۵۱
σ=50	۱۴.۱۵	۲۷.۵۶	۲۷.۲۵	۲۷.۲۲	۲۶.۷۶	۲۹.۵۵
σ=70	۱۱.۲۴	۲۶.۰۴	۲۵.۸۳	۲۵.۶۴	۲۵.۵۱	۲۸.۰۳
σ=100	۸.۱۲	۲۴.۴۹	۲۴.۴۵	۲۴.۱۰	۲۴.۰۱	۲۶.۵۸
barbara						
σ=20	۲۲.۱۰	۲۹.۱۳	۲۸.۲۳	۲۵.۰۶	۲۵.۰۱	۲۸.۷۱
σ=40	۱۶.۰۷	۲۵.۶۵	۲۴.۷۹	۲۳.۹۰	۲۳.۴۰	۲۶.۰۲
σ=50	۱۴.۱۵	۲۴.۶۶	۲۳.۸۸	۲۳.۴۴	۲۲.۸۹	۲۵.۱۶
σ=70	۱۱.۲۴	۲۳.۳۲	۲۲.۷۱	۲۲.۶۱	۲۲.۲۶	۲۴.۰۹
σ=100	۸.۱۳	۲۱.۹۲	۲۱.۷۲	۲۱.۴۹	۲۱.۳۴	۲۳

۱

۲

۳

۴

۵

۶

شکل ۱: تصویر نویز زدایی شده به روش‌های مختلف با سیگمای نویز ۴۰.۱) تصویر نویزی ۲) تصویر حاصل از آستانه‌گذاری Neigh Shrink Sure ۳) تصویر حاصل از آستانه‌گذاری Bivariate Shrinkage ۴) تصویر حاصل از آستانه‌گذاری کرولت ۵) تصویر حاصل از آستانه‌گذاری ویولت هدایت‌گر ۶) تصویر حاصل از ترکیب نتایج

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] R. C.Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing", Pearson, 3rd Edition, 2008.

[2] D. Jana and K. Sinha, "A Study on Complex Wavelet Transform and Its Application to Image Denoising", International Journal of Recent Development in Engineering and Technology, vol. 2, no. 4, April 2014.

[3] E. Candes ,L. Demanet, D. Donoho and L.Ying, "Fast Discrete Curvelet Transforms", SIAM Journal on Multiscale Modeling and Simulation, vol. 5, no. 3, pp. 861-899, September 2006

[4] M.Hui and H. Fengsong, "Face Recognition using Curvelet Transform and (2D)2PCA" , Proceedings of the 2011 Third International Workshop on Education Technology and Computer Science, vol. 02, pp. 37-40, 2012.

[5] D. Donoho and I. M. Johnstone, " Ideal Spatial Adaptation via Wavelet shrinkage", Biometrika, vol. 81, pp. 425-455, 1994.

[6] F. Xiao and Y. Zang, "A Comparative Study on Thresholding Methods in WaveletbasedImage Denoising", Elsevier, Procedia Engineering, vol. 15, pp. 3998 – 4003, 2011.

[7] A. Buades, B. Coll and J.M. Morel, "A Review of Image Denoising Algorithms, with a new one", SIAM Journal on Multiscale Modeling and Simulation, vol. 4, no. 2, pp. 490-530, 2005

[8] Z. Dengwen and C. Wengang, "Image denoising with an optimal threshold and neighbouring window", Elsevier, Pattern Recognition Letters, vol. 29, pp. 1694–1697. 2008

[9] Sh. Khan, A. Jain and A. Khare, "Image Denoising based on Adaptive Wavelet Thresholding by using Various Shrinkage Methods under Different Noise Condition", International Journal of Computer Applications, vol. 59, no. 20, December 2012

[10] E. J. Candes and D. L. Donoho, "Curvelets:A surprisingly effective nonadaptive representation for objects with edges", in Curves and Surface Fitting, A. Cohen, C. Rabut, and L. L. Schumaker, Eds.Nashville, TN: Vanderbilt Univ. Press, 2000, pp. 105–120.

[11] J. Ma and G. Plonka," Combined Curvelet Shrinkage and Nonlinear Anisotropic Diffusion", IEEE Transaction on Image Processing, vol. 16, no. 9, September 2007

[12] J. Ma and G. Plonka, "The Curvelet Transform, A review of recent applications", IEEE Signal Processing Magazine, vol. 27. no. 2, pp. 118-133, March 2010.

[13] E. P. Simoncelli and W. T. Freeman, "The Steerable Pyramid:A flexible architecture for multi-scale derivative computation," in Proc. International Conference on Image Processing, Washington DC ,vol. 3 , pp. 444–447, October 1995

[14] E. P. Simoncelli, W. T. Freeman, E. H. Adelson, and D. J.Heeger, "Shiftable Multiscale Transforms," IEEE Trans. Inf.Theory, vol. 38, pp. 587–607, March 1992.

[15] B.Tekin, U. S. Kamilov, E. Bostan, and M. Unser, "Benefits of Consistency in Image Denoising with Seerable Wavelets", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vancouver, BC, 2013, pp. 1355-1358, 2013.

[16] M. Unser ,N. Chenouard and D. Van De Ville, "Steerable pyramids and tight wavelet frames in $L_2(R^d)$", in IEEE Transactions on Image Processing, vol. 20, no. 10, pp. 2705-2721, Oct. 2011.

[17] F. Denis and A. Baskurt, "Multidirectional curvilinear structures detection using steerable pyramid," Journal of Electronic Imaging, vol. 13,no. 4, pp. 756–765, 2004.

[18] J. Portilla, V. Strela, M. J. Wainwright, and E. P. Simoncelli, "Image denoising using scale mixtures of Gaussians in the wavelet domain," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 12, no. 11, pp. 1338–1351, November 2003.

[19] A. Laine, J. A. Fan, and W. H. Yang, "Wavelets for contrast enhancement of digital mammography," IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, vol. 14, no. 5, pp. 536–550, 1995.

[20] A. Laine, A. Laine, S. Schuler, J. Fan, and W. Huda, "Mammographic feature enhancement by multiscale analysis," IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 13, no. 4, pp. 725–740, 1994.

[21] A. A. Bharath and J. Ng, "A Steerable Complex Wavelet Construction and Its Application to Image Denoising", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 14, no. 7, pp. 948-959, July 2005.

[22] E. Ehsaeyan, "An Improvement of Steerable Pyramid Denoising Method", Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering, vol. 12, no. 1, March 2016.

[23] Sh. M. Yang and Sh.Ch. Tai, "Fast and reliable image-noise estimation using a hybrid approach", Journal of Electronic Imaging, vol. 19, no. 3, Jul–Sep 2010.

www.SID.ir