

ارائه روشی سخت افزاری جهت کاهش نویز ضربه ای با مقدار تصادفی مبتنی بر تعیین ناحیه پیکسلها

زهره حسینخانی^۱، نادر کریمی^۲، محسن حاج عبدالهی^۳، شادرخ سماوی^۴

چکیده

وجود نویز در تصاویر حاصل از کاربردهایی نظیر صنعتی، نظامی و پزشکی، یکی از عوامل مهمی است که کیفیت اینگونه تصاویر را تحت تأثیر قرار داده و می تواند موجب اختلال در عملکرد صحیح این کاربردها شود. یکی از انواع نویز که می تواند موجب خرابی تصویر گردد، نویز ضربه ای با مقدار تصادفی است. با توجه به نیاز به انجام بلادرنگ برخی از کاربردهای ذکر شده، ارائه روش های کاهش این نوع نویز به صورت بلادرنگ و با پیچیدگی سخت افزاری مناسب از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در راستای رسیدن به این هدف محققین در این زمینه روش های مختلفی را با دیدگاه های نرم افزاری و سخت افزاری پیشنهاد داده اند. در این تحقیق با تقسیم بندی پیکسلهای تصویر با توجه به ناحیه ای که در آن قرار گرفته اند از یک سو و بررسی میزان اثر نویز روی آنها از سوی دیگر، روشی سخت افزاری جهت تشخیص نویز و بازسازی پیکسلهای تصویر با حفظ ویژگی های ساختاری آن ارائه شده است. نتایج شبیه سازیها و پیاده سازی های انجام شده نشان دهنده عملکرد مناسب روش پیشنهادی و برتری و یا قابل مقایسه بودن کارایی آن در مقایسه با روشهای سخت افزاری و نرم افزاری بررسی شده دارد.

کلیدواژه‌ها

نویز ضربه ای تصادفی، بهبود کیفیت تصویر، کاهش نویز در تصویر، تشخیص لبه، پیاده سازی سخت افزاری

۱ مقدمه

انتقال، نویزی شده و کارایی مراحل پردازشی بعدی را تحت تأثیر قرار دهند [۱]. یکی از انواع نویزها در این زمینه، نویز ضربه ای^۱ است. این نویز در واقع اعدادی هستند که به طور تصادفی بجای مقادیر برخی از پیکسلهای تصویر قرار می گیرد. بر اساس اینکه این اعداد چه مقادیری را میتواند به خود اختصاص دهد، نویز ضربه ای به دو نوع نویز ضربه ای با مقدار ثابت یا FVIN^۲ و نویز ضربه ای با مقدار تصادفی یا RVIN^۳ تقسیم بندی می شوند. در نوع اول این نویز که با عنوان نویز فلغل و نمک^۴ هم شناخته می شود، اعدادی ثابت شامل ۰ و ۲۵۵ (در تصاویر هشت بیتی) و در نوع دوم اعدادی تصادفی بین ۰ و ۲۵۵ در مختصات پیکسلهایی که به صورت تصادفی انتخاب می شوند، جایگزین می شود [۲]. تاکنون روشهای مختلفی برای حذف نویز ضربه ای با مقدار ثابت [۳-۷] و همچنین حذف نویز ضربه ای با مقدار تصادفی [۲۱-۸] از تصاویر نویزی ارائه شده است. در مورد نویز ضربه ای

امروز پردازش تصویر به یکی از ابزارهای پر استفاده در بسیاری از کاربردهای پزشکی، نظامی و صنعتی تبدیل شده است. تصاویر تولید شده در برخی از این کاربردها ممکن است در زمان اخذ و یا

این مقاله در ۱۶ آذر ۱۳۹۷ دریافت و در ۲۴ شهریور ۱۳۹۸ پذیرفته شد.

^۱ دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان،

z.hosseinkhani@ec.iut.ac.ir

^۲ دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان،

nader.karimi@iut.ac.ir

^۳ دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان،

m.hajabdollahi@ec.iut.ac.ir

^۴ دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان،

samavi96@cc.iut.ac.ir

نویسنده مسئول: نادر کریمی



در روش ارائه شده در مرجع [۸]، ابتدا مجموع اختلاف هر یک از پیکسل های درون یک پنجره 3×3 با پیکسل مرکزی آن محاسبه می شود. سپس این مقادیر از فیلتری پایین گذر عبور کرده و در صورت بزرگتر بودن حاصل از مقداری از پیش تعیین شده، پیکسل مرکزی بعنوان نویز شناسایی می شود. در این روش از میانه وزن دار پیکسل های همسایه برای بازسازی مقدار پیکسل نویزی استفاده شده است. در مرجع [۹] روشی براساس استفاده از همسایگی ای با ابعاد 5×5 و تعریف مسیر هایی در چهار جهت مختلف در اطراف پیکسل مرکزی آن، برای حذف نویز ارائه شده است. در این روش از مجموع وزن دار اختلاف پیکسل های هر جهت با پیکسل مرکزی برای تشخیص پیکسل نویزی و از میانه پیکسل های همسایه برای بازسازی مقدار آن استفاده شده است. در مرجع [۱۰] روشی پیشنهاد شده است که در آن ابتدا پیکسل های موجود در همسایگی 3×3 اطراف پیکسل مرکزی، بصورت صعودی و بر اساس مقدار سطح روشنایی مرتب می شوند. سپس تصمیم گیری در مورد نویزی بودن پیکسل مرکزی بر اساس استفاده از مقادیر عناصر چهارم و ششم این آرایه مرتب شده به همراه دو سطح آستانه از پیش تعیین شده دیگر انجام می شود. در این روش برای بازسازی پیکسل های نویزی از روش ارائه شده در مرجع [۱۱] استفاده شده است. در مرجع [۱۱] سعی شده است تا مصالحه ای بین حذف نقاط نویزی و حفظ جزئیات تصویر بدست آید. برای این منظور پیکسل های نویزی بصورت مرحله به مرحله و با استفاده از قانون های فازی مشخص می شوند. در هر مرحله مقادیر پیکسل های شناسایی شده براساس روشی مبتنی بر تطابق بلاک^۶ بازسازی می شوند. در روش ارائه شده در مرجع [۱۲] پیکسل های تصویر با استفاده از معیاری بنام ROR^1 به چهار دسته مختلف تقسیم می شوند. سپس پیکسل های نویزی با توجه به میزان اختلاف سطح روشنایی پیکسل مورد بررسی تا میانه هر یک از چهار دسته، تعیین می شوند. در ادامه پیکسل های نویزی شناسایی شده با استفاده از میانگین غیرمحمولی بازسازی می شود. در مراجع [۱۳] و [۱۴] روش هایی مبتنی بر استفاده از الگوریتم وراثتی برای دسته بندی پیکسل های تصویر به نویزی و غیر نویزی بکار رفته است. در مرجع [۱۳] برای بازسازی پیکسل های نویزی از میانه ی پیشنهاد شده در آن مقاله، شبیه ترین پیکسل به پیکسل اصلی مشخص و جایگزین پیکسل نویزی می شود. در مرجع [۲] از شبکه عصبی پرسپترون با دو لایه مخفی برای تعیین پیکسل های نویزی در تصویر استفاده شده است. برای این منظور دو مشخصه ی آماری مختلف از همسایگی اطراف هر پیکسل استخراج شده و بعنوان ورودی شبکه در مرحله آموزش، استفاده شده است. شناسایی پیکسل های نویزی توسط شبکه آموزش دیده و بازسازی آنها بر اساس استفاده از نوعی فیلتر حفظ کننده لبه انجام می شود. در مرجع [۱۵]،

با مقدار تصادفی، محققین دو دیدگاه مختلف نرم افزاری [۱۷-۸] [۲] و سخت افزاری [۲۱-۱۸] [۱] را مورد نظر قرار داده و روش های متنوعی را برای این منظور ارائه نموده اند. در روش های نرم افزاری هدف اصلی، رسیدن به کیفیت تصویر حذف نویز شده بالاتر است. این درحالی است که در روش هایی که با دیدگاه سخت افزاری به ارائه راهکار برای این منظور می پردازند، هدف اصلی ارائه روش هایی با پیچیدگی سخت افزاری پایین و امکان پیاده سازی بصورت بلادرنگ است. در این مقاله روشی با دیدگاه سخت افزاری برای کاهش نویز ضربه ای با مقدار تصادفی در تصاویر پیشنهاد شده است. برای این منظور ابتدا به ازای هر پیکسل و بر اساس مقدار سطح روشنایی و رابطه آن با سطوح روشنایی پیکسل های همسایه، ناحیه ای که پیکسل در آن قرار گرفته است تعیین می شود. سپس به ازای هر ناحیه، وجود یا عدم وجود نویز در پیکسل مربوطه بررسی شده و در نهایت روال بازسازی متناسب با هر ناحیه اعمال می شود. الگوریتم پیشنهادی بصورت تکراری و متناسب با میزان تقریبی نویز تشخیص داده شده در تصویر، انجام می شود. این روند سبب حفظ بافت و جزئیات تصویر به همراه کاهش مناسب نویز موجود شده است. علاوه بر این الگوریتم پیشنهادی با دیدگاه پیاده سازی سخت افزاری بررسی شده و معماری سخت افزاری مناسب برای قسمت های مختلف آن ارائه شده است. در نهایت روش پیشنهادی روی FPGA پیاده سازی شده است. نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها و پیاده سازی های صورت گرفته حاکی از برتری و یا قابل مقایسه بودن کارایی روش پیشنهادی در مقایسه با روش های سخت افزاری و نرم افزاری بررسی شده، است. ساختار ادامه مقاله به این ترتیب است که در بخش دوم تحقیقات انجام شده در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش سوم مراحل و جزئیات مربوط به روش کاهش نویز پیشنهادی بیان شده است. معماری سخت افزاری پیشنهادی برای قسمت های مختلف الگوریتم پیشنهادی در بخش چهارم ارائه شده اند. در بخش پنجم نتایج شبیه سازی ها و پیاده سازی های انجام گرفته، بیان شده و روش پیشنهادی با روش های موجود در این زمینه مقایسه شده است. بخش ششم نیز به نتیجه گیری اختصاص دارد.

۲ مروری بر تحقیقات گذشته

در این بخش ابتدا روش های نرم افزاری و سپس روش های سخت افزاری ارائه شده برای حذف نویز از تصاویر نویزی با نویز ضربه ای تصادفی مورد بررسی قرار گرفته اند. عمده روش های حذف نویز بررسی شده در این تحقیق از دو قسمت اصلی تشخیص پیکسل های نویزی و سپس انجام عملیات حذف نویز یا بازسازی در مورد پیکسل های نویزی، تشکیل شده اند.

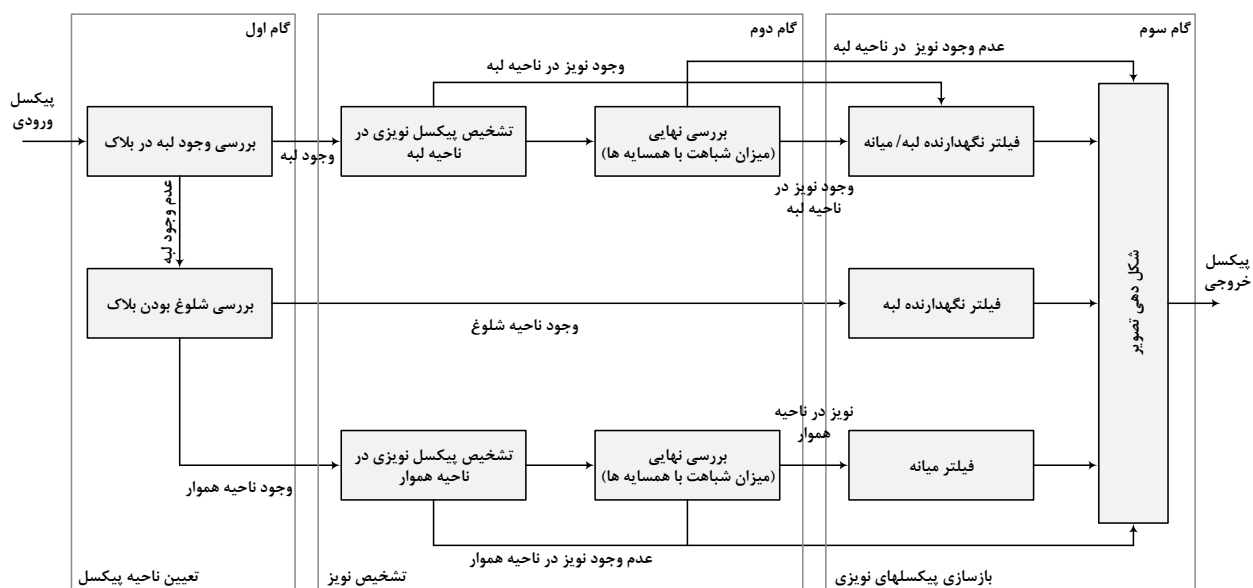
وضعیت روی لبه بودن پیکسل توسط واحد دوم بررسی شده و در صورت مثبت بودن، پیکسل غیر نویزی شناسایی شده و مقدار آن بدون تغییر باقی می‌ماند. در صورت منفی بودن پاسخ، وضعیت نویزی بودن و یا نبودن پیکسل جاری توسط واحد سوم بررسی شده و نتیجه نهایی توسط این واحد تعیین خواهد شد. در این روش تعیین مقدار پیکسل‌های نویزی براساس میانه بین چهار پیکسل همسایه آن و همچنین مقدار پیشگویی شده متناظر با آن بر اساس سطوح روشنایی همسایه هایش و استفاده از نوعی فیلتر نگه دارنده لبه تعیین می‌شود. در مراجع [۱۹] و [۲۰] برای تشخیص نقاط نویزی، هر پیکسل براساس وضعیت پیکسل‌های همسایه اش به پنج ناحیه‌ی هموار، هموار نویزی، لبه، لبه نویزی و نقاط شلوغ تقسیم می‌شوند. در ادامه نقاط نویزی با توجه به ناحیه‌ی که در آن قرار دارند، با استفاده از فیلترهای متفاوت و متناسب با آن ناحیه بازسازی می‌شوند. در مرجع [۲۱] سعی شده است تا بنوعی مقدار همبستگی پیکسل مرکزی با پیکسل‌های همسایه در یک همسایگی 3×3 با استفاده از روشی بنام SMV^۹ بررسی شده و بر این اساس تصمیم‌گیری در مورد نویزی بودن پیکسل مرکزی انجام شود. سپس بازسازی پیکسل‌های شناسایی شده بر اساس فیلتر میانه‌ای با حفظ لبه مبتنی بر گرادینان انجام می‌شود.

۳ روش پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی در این مقاله که بلوک دیاگرام آن در شکل ۱ نشان داده شده است، شامل سه گام اصلی بوده و به ازای هر یک از پیکسل‌های تصویر انجام می‌شود. در گام اول با در نظر گرفتن یک همسایگی 3×3 در اطراف پیکسل جاری و استفاده از سطوح روشنایی آنها، ناحیه‌ای که پیکسل در آن قرار دارد تعیین می‌شود و

پیکسل‌های نویزی ابتدا با استفاده از توصیف تنک^۷ و آستانه‌گذاری، تشخیص داده و سپس با استفاده از روشی مبتنی بر inpainting، بازسازی می‌شوند. در مرجع [۱۶]، پیکسل‌های نویزی بر اساس روشی مبتنی بر اعمال مشتق مرتبه دوم تشخیص داده می‌شوند. برای بازسازی نیز از روش انتشار ناهمسانگرد^۸ استفاده می‌شود. در مرجع [۱۷]، روشی مبتنی بر استفاده از معادلات با مشتقات جزئی برای حذف نویز ارائه شده است. دو تابع کنترل‌کننده برای مدل ارائه شده و معادلات به گونه‌ای اصلاح شده‌اند که تشخیص نقاط لبه و نویز در بین پیکسل‌های تصویر میسر شود.

در مراجع [۲۱-۱۸] روشهایی به همراه معماری سخت‌افزاری متناظر با آنها برای کاهش نویز ضربه‌ای با مقدار تصادفی در تصاویر ارائه شده است. در روش پیشنهادی در مرجع [۱۸] یک پنجره 3×3 در اطراف پیکسل جاری در نظر گرفته شده و پیکسل‌های آن براساس سطح روشنایشان به صورت صعودی مرتب می‌شوند. سپس دو آستانه بر اساس پیکسل‌های مرتب شده محاسبه می‌شود. در صورتی که سطح روشنایی پیکسل مرکزی بین این دو سطح آستانه نباشد، این پیکسل به عنوان نویز شناسایی خواهد شد. در این روش از میانه پیکسل‌های پنجره مذکور برای جایگزینی پیکسل نویزی استفاده می‌شود. در روش ارائه شده در مرجع [۱] برای تشخیص پیکسل‌های نویزی از نوعی درخت تصمیم‌گیری استفاده شده است. برای این منظور وضعیت هر پیکسل توسط سه واحد مختلف بررسی شده و ناحیه مربوط به آن مشخص می‌شود. در واحد اول هموار بودن ناحیه پیکسل جاری ارزیابی شده و در صورت مثبت بودن وضعیت پیکسل غیر نویزی شناخته شده و مقدار آن بدون تغییر باقی خواهد ماند. در غیر این صورت،



شکل ۱ بلوک دیاگرام نرم افزاری روش پیشنهادی

واحد بررسی میزان شلوغی بلاک به عنوان ناحیه شلوغ در نظر گرفته می شود. این تفاوت با سایر پیکسل ها در مرتب سازی خود را بیشتر نشان می دهد. بنابراین عناصر ۴م و ۱۶م از مرتب سازی صعودی در پیکسل های همسایه ۳×۳ اطراف پیکسل با آستانه T_2 به ترتیب جمع و تفریق می شوند. سپس پیکسل مرکزی با مقادیر به دست آمده مقایسه می شود. اگر این پیکسل از عنصر چهارم در ترتیب صعودی منهای آستانه مشخص کمتر یا از عنصر ششم در ترتیب صعودی به علاوه آستانه مشخص بیشتر باشد به عنوان پیکسلی که در ناحیه شلوغ قرار دارد، در نظر گرفته می شود. پیکسل هایی که در این دسته قرار نمی گیرند، در ناحیه هموار در نظر گرفته می شوند. این روند در رابطه ی (۲) بیان شده است. به این ترتیب یکی از سه ناحیه لبه، شلوغ و هموار برای هر پیکسل از تصویر ورودی در نظر گرفته میشود.

$$P_5 \in \begin{cases} \text{Jittery} & \text{if } (F_6 + T_2) < P_5 \text{ or } P_5 < (F_4 - T_2) \\ \text{Smooth} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

۲-۳ تشخیص پیکسل های نویزی

پس از تعیین ناحیه هر پیکسل در گام قبل، نویزی یا غیر نویزی بودن هر پیکسل در ناحیه ای که به آن تعلق دارد بررسی می شود. برای رسیدن به این هدف به ازای پیکسل های مربوط به ناحیه لبه و یا هموار از مکانیزمی دو مرحله ای برای تصمیم گیری استفاده شده است. به این ترتیب که در مرحله اول وضعیت پیکسل توسط واحد هایی که به همین منظور طراحی شده اند، بررسی می شود. در صورتیکه پیکسل در ناحیه لبه قرار گرفته باشد و نویزی بودن آن توسط واحد مربوطه (تشخیص پیکسل نویزی در ناحیه لبه) تشخیص داده شود، برای بازسازی به گام بعد منتقل می شود. در غیر این صورت نویزی بودن آن مجدداً و با دیدگاه دیگری در واحد بررسی نهایی چک شده و براساس نتیجه حاصله، تصمیم گیری در مورد بازسازی و یا عدم بازسازی آن انجام خواهد شد. همچنین در صورتیکه پیکسل در ناحیه هموار قرار گرفته باشد و نویزی نبودن آن توسط واحد مربوطه (تشخیص پیکسل نویزی در ناحیه هموار) تشخیص داده شود، به گام بعد وارد شده و بدون تغییر در تصویر جایگزین می شود. در غیر این صورت نویزی بودن آن مجدداً و با دیدگاه دیگری در واحد بررسی نهایی چک شده و در صورت تایید برای بازسازی به گام بعد منتقل می شود. جزئیات مربوط به این فرایند در ادامه بیان شده است.

در این گام از روش پیشنهادی در صورتیکه پیکسل در ناحیه لبه قرار گرفته باشد، وضعیت آن توسط واحد تشخیص پیکسل نویزی در ناحیه لبه بررسی می شود. در این واحد در همسایگی ۳×۳ اطراف پیکسل جاری، چهار جهت اصلی لبه شامل، افقی، عمودی، قطری و پاراقطری، در نظر گرفته می شود. در ادامه قدرمطلق اختلاف

یکی از نواحی لبه، شلوغ و یا هموار برای آن پیکسل در نظر گرفته می شود. سپس در گام دوم نویزی و یا غیر نویزی بودن پیکسل جاری با توجه به ناحیه آن بررسی شده و در گام آخر پیکسل های نویزی متناسب با ناحیه ای که در آن قرار دارند، بازسازی می شوند. این سه گام به ازای هر تصویر ورودی بصورت تکراری انجام می شود. جزئیات مربوط به هر یک از گام های الگوریتم پیشنهادی در ادامه و نحوه تعیین تعداد تکرار آن به ازای هر تصویر، در زیربخش ۵-۱ آمده است.

۱-۳ تعیین ناحیه پیکسل

هدف از این گام تعیین ناحیه پیکسل جاری بر اساس وضعیت سطوح روشنایی همسایه هایش می باشد. به این صورت که در انتهای این قسمت یکی از نواحی لبه، شلوغ و یا هموار برای هر پیکسل از تصویر ورودی در نظر گرفته می شود. برای این منظور مطابق شکل ۱، ابتدا تعلق پیکسل جاری به ناحیه لبه مورد ارزیابی قرار می گیرد. در ادامه و در صورت نیاز قرار گرفتن پیکسل در نواحی شلوغ و یا هموار مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه جزئیات مربوط به این مراحل و چگونگی انجام آنها بیان شده است.

وجود لبه در تصویر معمولاً به دلیل اختلاف چشمگیر سطوح روشنایی پیکسل های دو ناحیه مجاور می باشد. در صورتیکه همسایگی کوچکی روی ناحیه لبه در نظر گرفته شود، معمولاً پیکسل های موجود در آن ناحیه را می توان بر اساس سطوح روشنایشان به دو دسته تقسیم نمود. در واحد بررسی وجود لبه در بلاک، همسایه های پیکسل مرکزی که در پنجره ۳×۳ اطراف آن قرار دارند، به ترتیب صعودی مرتب می شوند. خروجی حاصل از این مرتب سازی علاوه بر این واحد در سایر واحدهای این گام و همچنین واحد تشخیص پیکسل نویزی در ناحیه هموار از گام بعد نیز استفاده می شود. پس از مرتب سازی صعودی، فاصله سطح روشنایی بین عناصر ۴م و ۱۵م در این ترتیب صعودی همچنین عناصر ۵م و ۱۶م محاسبه می شود. در صورتیکه یکی از این فواصل به دست آمده از سطح آستانه T_1 بیشتر باشد، ناحیه پیکسل مورد بررسی، لبه در نظر گرفته می شود. نحوه عملکرد این واحد در رابطه (۱) نشان داده شده است. در این رابطه مقادیر F_4 ، F_5 و F_6 ، عناصر ۴م، ۱۵م و ۱۶م حاصل از مرتب سازی صعودی پیکسل ها در همسایگی ۳×۳ هستند و P_5 پیکسل مرکزی است.

$$P_5 \in \begin{cases} \text{Edge} & \text{if } (F_5 - F_4) > T_1 \text{ or } (F_6 - F_5) > T_1 \\ \text{Non-edge} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

در صورت عدم تعلق پیکسل جاری به ناحیه لبه، بررسی شلوغی^۱ ناحیه با در نظر گرفتن پیکسل جاری انجام می شود. در صورتی که این پیکسل تفاوت زیادی با همسایه هایش داشته باشد، توسط

همسایه هایش توسط واحد بررسی نهایی تایید شد، پیکسل مورد نظر به عنوان لبه‌ای شناخته می‌شود که بدون نویز است و بدون تغییر جایگزین خواهد شد. اما اگر شباهت قابل توجهی بین پیکسل مورد نظر و همسایه هایش تشخیص داده نشود، پیکسل جاری به عنوان نویز در ناحیه لبه شناخته شده و در اختیار مرحله بعد قرار خواهد گرفت. برای تعیین میزان شباهت، قدر مطلق اختلاف هر یک از پیکسل‌های همسایه در پنجره 3×3 با پیکسل مرکزی به دست می‌آید. پیکسل‌هایی از همسایگی 3×3 که میزان این اختلاف به ازای آنها کمتر از آستانه مشخص T_4 باشد به عنوان پیکسل‌های مشابه مشخص می‌شوند. اگر تعداد پیکسل‌های مشابه بیشتر از آستانه T_5 باشد می‌توان نتیجه گرفت پیکسل مورد بررسی مشابه با همسایه‌هایش است و هرگاه چنین شباهتی در الگوریتم پیشنهادی مشاهده شود، پیکسل مورد نظر به عنوان پیکسل غیر نویزی شناخته می‌شود و بدون تغییر جایگزین خواهد شد.

۳-۳ بازسازی پیکسل‌های نویزی

در الگوریتم پیشنهادی بازسازی پیکسل‌های نویزی متناسب با ناحیه‌ای که پیکسل در آن قرار دارد، انجام می‌شود. به این ترتیب که برای بازسازی پیکسل‌های مربوط به ناحیه شلوغ از فیلتر نگه‌دارنده لبه ارائه شده در مرجع [۱]، استفاده شده است. همچنین، برای بازسازی پیکسل‌های نویزی در ناحیه لبه، در تکرار اول که تعداد پیکسل‌های نویزی بیشتر است از فیلتر نگه‌دارنده لبه مرجع [۱] و در تکرارهای بعدی که درصد وجود نویز کاهش یافته است، همانند پیکسل‌های نویزی در ناحیه هموار از فیلتر میانه استفاده شده است.

۴ ساختار سخت افزاری

ددر شکل ۲ بلوک دیاگرام سخت افزاری روش پیشنهادی نشان داده شده است. در این شکل P_5 پیکسل جاری و سایر مقادیر P_1 تا P_9 ، پیکسل‌های همسایه 3×3 اطراف آن هستند. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، سطح روشنایی ۹ پیکسل موجود در همسایگی 3×3 مورد نظر، علاوه بر واحد مرتب سازی وارد واحدهای بررسی نهایی و همچنین تشخیص پیکسل نویزی در ناحیه لبه شده و عملکرد سایر واحدهای استفاده شده در روش پیشنهادی بر اساس خروجی آنها تعیین می‌شود.

شکل ۳ دیاگرام داخلی واحد بررسی وجود لبه در بلاک را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود این واحد شامل یک تفریق کننده^۱، یک جمع کننده/تفریق کننده^۲، دو مقایسه کننده^۱ و یک گیت منطقی or می‌باشد. بر اساس رابطه (۱) از دو تفریق کننده برای محاسبه اختلاف عناصر ۴ام و ۵ام حاصل از مرتب‌سازی صعودی و همچنین اختلاف عناصر ۵ام و ۶ام حاصل از

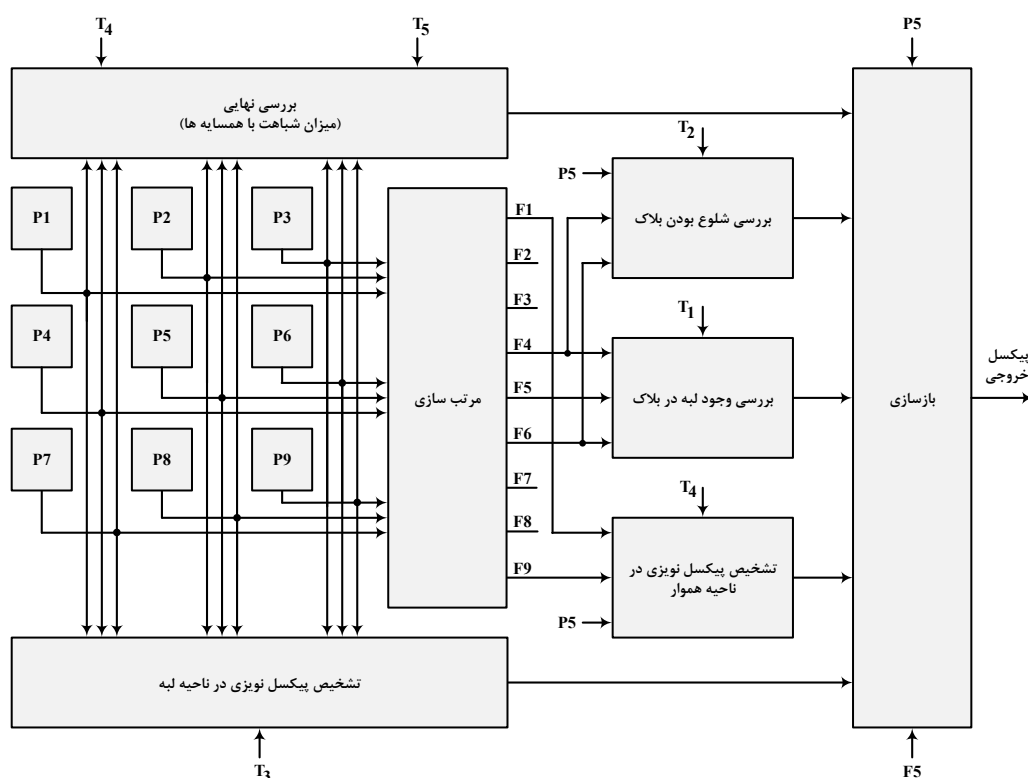
پیکسل جاری با دو پیکسلی که روی جهت لبه قرار دارند، به دست می‌آید و این اختلاف‌ها باهم جمع می‌شوند. این عمل در چهار جهت اصلی تکرار می‌شود. سپس بین چهار مقدار به دست آمده کمترین مقدار انتخاب شده و اگر این مقدار از آستانه T_3 بیشتر باشد مشخص می‌شود که پیکسل جاری مقداری متفاوت با پیکسل‌های روی جهت‌های اصلی لبه داشته و در این شرایط پیکسل مورد نظر، به عنوان نویزی که روی لبه قرار دارد شناخته می‌شود. همچنین پیکسل‌هایی که در ناحیه شلوغ شناسایی شده اند نیز در روش پیشنهادی به عنوان پیکسل نویزی شناخته می‌شوند.

از سوی دیگر پیکسل‌هایی که در ناحیه هموار شناسایی شده اند وارد واحد تشخیص پیکسل نویزی در ناحیه هموار می‌شوند. در صورت نویزی بودن پیکسل مرکزی در یک ناحیه هموار، این پیکسل اختلاف زیادی با حداقل یکی از کمترین و یا بیشترین مقادیر موجود در بین همسایگانش ندارد. بنابراین در این مرحله اختلاف پیکسل مرکزی با بزرگترین و همچنین کوچکترین پیکسل همسایه اش در همسایگی 3×3 اطراف آن محاسبه شده و با آستانه T_4 مقایسه می‌شوند. اگر یکی از این مقادیر به دست آمده از آستانه مذکور کمتر باشد، پیکسل مورد بررسی در این مرحله به عنوان پیکسل نویزی در ناحیه هموار در نظر گرفته می‌شود. نحوه عملکرد این واحد در رابطه (۳) نشان داده شده است. در این رابطه F_1 و F_9 عناصر ۱ام و ۹ام مرتب‌سازی صعودی می‌باشند.

$$P_5 \in \begin{cases} \text{Noisy} & \text{if } (F_9 - P_5) < T_4 \text{ or } (P_5 - F_1) < T_4 \\ \text{Not noisy} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

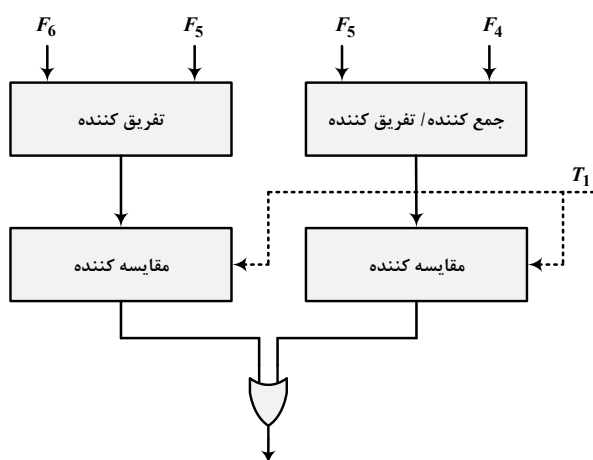
وظیفه واحد بررسی نهایی که در دو قسمت بلوک دیاگرام روش پیشنهادی از آن استفاده شده است، بررسی میزان شباهت پیکسل جاری با همسایه هایش در پنجره 3×3 است. به صورت کلی اگر میزان شباهت پیکسل جاری به همسایه‌ها زیاد باشد، آن پیکسل می‌تواند بدون تغییر جایگزین شود. در روش پیشنهادی در دو مورد برای تصمیم‌گیری نهایی در مورد نویزی بودن یا نبودن پیکسل جاری از این واحد استفاده شده است. اولین مورد زمانی است که پیکسل جاری در نواحی همواره بوده و به عنوان نویز شناسایی شده باشد. در چنین شرایطی وضعیت این پیکسل توسط واحد مذکور مجدداً مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این حالت اگر واحد بررسی نهایی، شباهتی قابل توجهی را بین پیکسل جاری و همسایه هایش تشخیص داد، آن پیکسل به عنوان نویز شناخته نشده و بدون تغییر جایگزین خواهد شد. اما اگر واحد بررسی نهایی در این قسمت عدم شباهت را تشخیص دهد، پیکسل جاری به عنوان نویز در ناحیه هموار شناسایی شده و در اختیار مرحله بعد قرار خواهد گرفت.

مورد دوم زمانی است که پیکسل جاری در ناحیه لبه بوده و نویز شناخته نشده باشد. در این حالت اگر شباهت پیکسل مورد نظر با



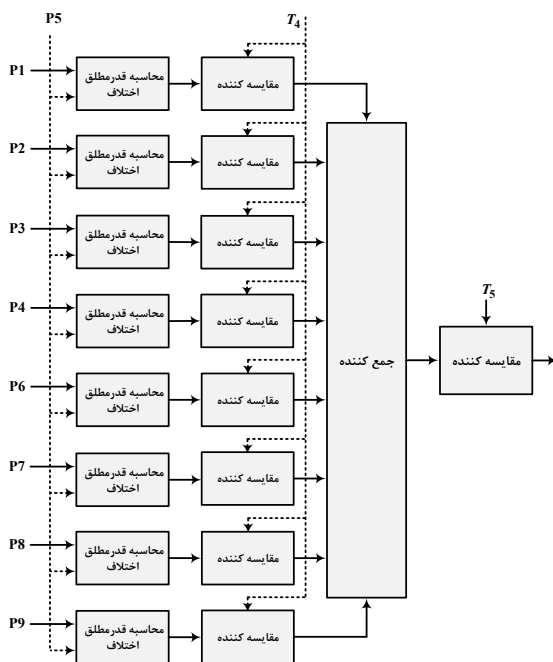
شکل ۲. بلوک دیاگرام سخت افزاری روش پیشنهادی

در شکل ۴ دیاگرام سخت افزاری تشخیص پیکسل نویزی در ناحیه لبه نشان داده شده است. در این واحد ابتدا قدر مطلق اختلاف سطح روشنایی پیکسل مرکزی با سطوح روشنایی هشت پیکسل همسایه اش محاسبه می شود. سپس به ازای هر یک از چهار جهت افقی، عمودی، قطری و پارقطری، مجموع قدر مطلقهای اختلاف دو پیکسلی که روی آن جهت قرار دارند با پیکسل مرکزی، توسط

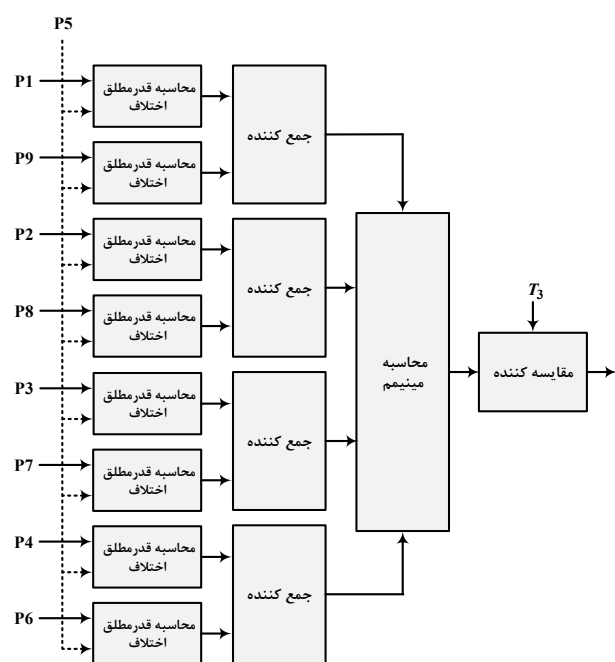


شکل ۳. بلوک دیاگرام داخلی واحد سخت افزاری مشترک بین واحد های بررسی وجود لبه در بلاک، بررسی شلوغ بودن بلاک و تشخیص پیکسل نویزی در ناحیه هموار.

مرتب سازی مذکور استفاده شده است. در ادامه این مقادیر توسط دو مقایسه کننده با سطح آستانه T_1 مقایسه شده و در صورت بزرگتر بودن حداقل یکی از آنها از سطح آستانه تعیین شده، خروجی این واحد توسط گیت OR، یک خواهد شد. همچنین با تغییر ورودی ها با توجه به معادله (۲) می توان از این ساختار سخت افزاری برای پیاده سازی واحد بررسی شلوغ بودن بلاک نیز استفاده نمود. برای این منظور واحد جمع کننده/تفریق کننده در حالت جمع قرار گرفته و از آن برای جمع کردن عنصر ۶ام حاصل از مرتب سازی با آستانه T_2 و از تفریق کننده موجود برای تفریق این سطح آستانه از عنصر ۴ام حاصل از مرتب سازی استفاده شده است. مقادیر به دست آمده توسط دو مقایسه کننده با پیکسل مرکزی مقایسه می شوند. اگر پیکسل مرکزی از مقدار به دست آمده از جمع کننده بیشتر و یا از مقدار به دست آمده از تفریق کننده کمتر بود، خروجی این واحد توسط گیت OR یک می شود. از سوی دیگر پیاده سازی سخت افزاری واحد تشخیص پیکسل نویزی در ناحیه هموار نیز با توجه به رابطه (۳) می تواند توسط سخت افزار شکل ۳ انجام شود. برای رسیدن به این هدف اختلاف پیکسل مرکزی و عناصر ۱۱ام و ۱۹ام حاصل از مرتب سازی صعودی توسط دو تفریق کننده محاسبه شده و در ادامه این مقادیر با استفاده از دو مقایسه کننده با آستانه T_4 مقایسه می شوند. اگر حداقل یکی از این مقادیر از آستانه مذکور کمتر باشد، خروجی این واحد توسط گیت OR یک خواهد شد.



شکل ۵ بلوک دیاگرام داخلی واحد سخت افزاری بررسی میزان شباهت



شکل ۴ بلوک دیاگرام داخلی واحد سخت افزاری تشخیص پیکسل نویزی در ناحیه لبه.

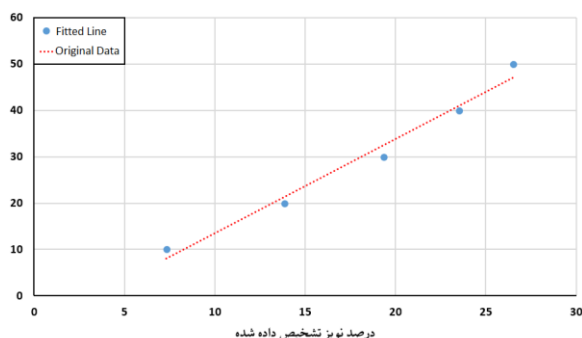
خاکستری‌گونه^{۱۳} مجموعه تصاویر طبیعی استاندارد مرجع [۲۴] استفاده شده است. برای ارزیابی روش پیشنهادی، تصاویر مذکور به نویز ضربه‌ای با مقدار تصادفی با درصدهای مختلف بین ۱۰ تا ۵۰ درصد نویزی شده و سپس مقدار PSNR^{۱۴} و SSIM^{۱۵} بین تصویر اصلی و تصویر حذف نویز شده حاصل از الگوریتم پیشنهادی محاسبه شده است. معیار PSNR بیان‌کننده نسبت بین ماکزیمم توان ممکن یک سیگنال و توان نویز مخرب مربوط به آن است. معیار SSIM نیز روشی برای بیان میزان کیفیت بصری تصاویر و ویدئو است. در راستای دستیابی به دقت بالا در محاسبه نتایج، فرایند تولید تصاویر نویزی و حذف نویز شده به ازای هر تصویر و در هر درصد نویز ده بار تکرار شده و متوسط مقادیر PSNR و SSIM بعنوان نتیجه گزارش شده است. سطوح آستانه مورد نیاز الگوریتم پیشنهادی بصورت تجربی و به ترتیب برابر با ۲۰، ۳۰، ۱۰۰ و ۱۰ به ازای پارامترهای T_1 تا T_4 در نظر گرفته شده اند. نحوه محاسبه تعداد تکرارهای لازم الگوریتم پیشنهادی و همچنین مقدار سطح آستانه T_5 متناظر با آن در زیربخش ۵-۱ بیان شده است. قسمتهای مختلف الگوریتم پیشنهادی در محیط Matlab نگارش 2016a شبیه سازی شده و نتایج کمی و کیفی بدست آمده و همچنین تاثیر تغییر سطوح آستانه انتخابی در نتیجه نهایی، به ترتیب در زیر بخش های ۵-۲ تا ۵-۴ ارائه شده است. معماری پیشنهادی برای پیاده سازی سخت افزاری روش نیز توسط زبان VHDL توصیف و در محیط Xilinx ISE نگارش ۱۴/۱ پیاده سازی شده است. نتایج بدست آمده در این مورد در زیر بخش ۵-۵ بیان شده است. تمام شبیه سازی ها با استفاده از یک کامپیوتر با

واحد های جمع کننده محاسبه می شوند. در ادامه کمترین مقدار بین آنها مشخص شده و توسط مقایسه کننده با سطح آستانه T_3 مقایسه خواهد شد. در صورت بزرگتر بودن حاصل از آستانه مذکور، پیکسل بعنوان نویز شناخته شده و خروجی این واحد یک خواهد شد.

دیاگرام سخت افزاری واحد بررسی میزان شباهت در شکل ۵ دیده می شود. در این واحد از هشت واحد برای محاسبه قدر مطلق اختلاف پیکسل مرکزی با هشت پیکسل همسایه استفاده شده است. در ادامه این مقادیر توسط واحد های مقایسه کننده با سطح آستانه T_4 مقایسه می شوند. در صورت کوچکتر بودن مقدار قدرمطلق اختلاف محاسبه شده از T_4 ، خروجی مقایسه کننده یک شده که نشان دهنده مشابه بودن سطح روشنایی پیکسل مرکزی با پیکسل همسایه مورد بررسی می باشد. در انتها تعداد پیکسل های مشابه توسط جمع کننده شمرده شده و با آستانه T_5 مقایسه می شوند، تا شباهت و یا عدم شباهت پیکسل جاری با همسایه هایش مشخص شود. در روش پیشنهادی، از سخت افزار مرتب سازی ارائه شده در مرجع [۲۲] استفاده شده است. همچنین در مورد فیلتر میانه و فیلتر نگه دارنده لبه ها به ترتیب از روشهای سخت افزاری ارائه شده در مراجع [۲۳] و [۱] استفاده شده است.

۵ شبیه سازی و نتایج

در این بخش نتایج شبیه سازی ها و پیاده سازی های انجام شده ارائه شده است. در ارزیابی های انجام شده از تصاویر



شکل ۶ رابطه بین درصد نویز واقعی اضافه شده به تصویر و درصد پیکسل‌های نویزی تشخیص داده شده

واحدهای بررسی شلوغ بودن بلاک و تشخیص پیکسل نویزی در ناحیه لبه بعنوان نویز شناسایی شده اند، شمارش می شوند. سپس از این پارامتر پس از نرمال سازی (که در ادامه N نامیده می شود)، جهت تعیین تعداد تکرار های بعدی الگوریتم استفاده شده است. شبیه سازی های انجام شده و آنالیز نتایج نشان می دهد که بین درصد نویز واقعی اضافه شده به تصویر در فرایند ساختن تصاویر نویزی از روی تصاویر اصلی و درصد پیکسل‌های نویزی تشخیص داده شده توسط این مرحله (N) رابطه ی نشان داده شده در شکل ۶ وجود دارد.

در این شکل محور افقی درصد نویز تشخیص داده شده توسط الگوریتم پیشنهادی و محور عمودی درصد نویز واقعی اضافه شده به تصویر می باشد. برای محاسبه هر یک از نقاط این نمودار از تمامی پیکسل‌های تصاویر خاکستری گونه موجود در پایگاه داده [۲۴] استفاده شده است. بنابراین با بدست آوردن مقدار N توسط الگوریتم پیشنهادی و استفاده رابطه خطی بدست آمده ($\bar{N} = 2.036N - 6.869$) می توان مقدار نویز موجود در تصویر ورودی ($\bar{N}$) را بنوعی تقریب زد. با توجه به دیدگاه سخت افزاری روش پیشنهادی، در شبیه سازی ها نرم افزاری و پیاده سازی های سخت افزاری انجام شده شیب و عرض از مبدا رابطه مذکور به ترتیب برابر با ۲ و

جدول ۱ تعداد کل تکرارها و مقدار سطح آستانه T_5 پیشنهادی

مقدار پارامتر $\bar{N}$	تعداد تکرار	سطح آستانه T_5
$0 < \bar{N} \leq 10$	۲	۷
$10 < \bar{N} \leq 20$	۲	۶
$20 < \bar{N} \leq 30$	۳	۵
$30 < \bar{N} \leq 40$	۴	۴
$40 < \bar{N} \leq 50$	۵	۳

پردازنده مرکزی اینتل مدل Core i5-480M و حافظه اصلی 4GB انجام شده است.

۱-۵ تعیین تعداد تکرار الگوریتم

همانطور که انتظار می رود با افزایش درصد نویز در تصویر، در پهنه‌های ۳ در ۳ مورد بررسی تعداد بیشتری از پیکسل ها نویزی می شوند. در چنین شرایطی ممکن است به دلیل تفاوت زیاد در مقادیر پیکسل‌های پهنه جاری در اثر وجود نویز، تشخیص نویزی بودن و یا نبودن پیکسل مرکزی به درستی قابل انجام نباشد. برای غلبه بر این مشکل در روش پیشنهادی از رویکردی تکراری برای کاهش نویز استفاده شده است. بعبارت دیگر اگر پیکسل‌های نویزی که تشخیص آن ها آسانتر است، در اولین تکرار شناسایی و بازسازی شوند، تعداد نقاط نویزی در تکرار بعد کمتر شده و به این ترتیب تشخیص نویزی بودن پیکسل‌ها در تکرار های بعد با دقت بهتری انجام می شود. در روش پیشنهادی تعیین تکرار الگوریتم بر اساس شرایط تصویر ورودی انجام شده و سعی شده است تا به نوعی این تعداد تکرار با توجه به مقدار نویز شناسایی شده در تصویر انتخاب شود. برای این منظور در ابتدا یک بار الگوریتم پیشنهادی در شکل ۱ به ازای تمامی پیکسل‌های تصویر ورودی انجام می شود. در زمان انجام اینکار، پیکسل‌هایی که توسط

جدول ۲. مقایسه‌ی معیارهای PSNR و SSIM با درصدهای نویز مختلف در تصویر Lena

درصد نویز										مرجع مقایسه شده
۱۰٪	۲۰٪	۳۰٪	۴۰٪	۵۰٪	۱۰٪	۲۰٪	۳۰٪	۴۰٪	۵۰٪	
SSIM					PSNR					
۰/۸۵۷	—	۰/۹۱۳	—	۰/۹۳۳	۲۸/۶۹	—	۳۱/۲۵	—	۳۲/۹۲	[۱۳]
—	۰/۷۲۸	—	۰/۸۵۷	—	—	۳۱/۷۹	—	۳۳/۸۴	—	[۲]
۰/۸۳۰	۰/۸۹۰	۰/۹۲۴	۰/۹۴۲	۰/۹۷۲	۲۷/۸۷	۳۰/۰۱	۳۲/۰۱	۳۴/۰۶	۳۶/۴۵	[۱۴]
۰/۸۷۷	۰/۹۳۱	۰/۹۶۵	۰/۹۷۴	۰/۹۸۸	۲۶/۱۶	۲۹/۳۹	۳۲/۲۰	۳۴/۴۶	۳۷/۷۵	[۱۵]
—	—	—	—	—	۲۷/۹۶	۲۹/۵۲	۳۰/۷۴	۳۲/۸۸	۳۳/۸۶	[۱۶]
—	—	—	—	—	۲۶/۳۹	۲۸/۳۵	۲۹/۹۰	۳۱/۴۰	۳۲/۹۰	[۱۷]
۰/۵۹۹	۰/۷۶۴	۰/۸۹۷	۰/۹۶۸	۰/۹۹۲	۲۱/۱۸	۲۴/۱۹	۲۸/۱۸	۳۲/۴۹	۳۷/۰۹	[۱۸]
۰/۸۶۱	۰/۹۲۸	۰/۹۶۶	۰/۹۸۲	۰/۹۹۰	۲۶/۳۷	۲۹/۰۰	۳۱/۱۶	۳۳/۵۸	۳۶/۴۹	[۱]
۰/۷۴۰	۰/۸۸۲	۰/۹۵۵	۰/۹۸۴	۰/۹۹۴	۲۴/۰۸	۲۷/۶۶	۳۱/۶۱	۳۴/۸۹	۳۷/۸۱	[۱۹]
۰/۸۹۷	۰/۹۵۰	۰/۹۷۲	۰/۹۸۶	۰/۹۹۳	۲۸/۰۱	۳۰/۳۷	۳۲/۴۲	۳۴/۷۰	۳۷/۶۸	روش پیشنهادی

جدول ۳. مقایسه‌ی معیارهای PSNR و SSIM با درصدهای نویز مختلف در تصویر Goldhill

درصد نویز										مرجع مقایسه شده
%۵۰	%۴۰	%۳۰	%۲۰	%۱۰	%۵۰	%۴۰	%۳۰	%۲۰	%۱۰	
SSIM					PSNR					
۰/۷۵۶	-	۰/۸۴۰	-	۰/۸۵۴	۲۷/۷۶	-	۲۹/۲۴	-	۳۰/۰۴	[۱۳]
-	۰/۷۵۳	-	۰/۸۶۰	-	-	۲۹/۴۶	-	۳۱/۵۵	-	[۲]
۰/۶۱۸	۰/۷۶۲	۰/۸۸۶	۰/۹۵۶	۰/۹۸۳	۲۰/۵۶	۲۳/۶۳	۲۷/۱۶	۳۰/۹۵	۳۳/۹۵	[۱۸]
۰/۸۳۳	۰/۹۰۹	۰/۹۴۴	۰/۹۶۶	۰/۹۷۸	۲۶/۲۲	۲۸/۲۹	۳۰/۱۶	۳۱/۷۳	۳۳/۲۳	[۱]
۰/۷۳۷	۰/۸۶۹	۰/۹۴۱	۰/۹۷۴	۰/۹۸۶	۲۳/۵۳	۲۶/۶۷	۳۰/۰۰	۳۲/۴۸	۳۴/۶۲	[۱۹]
۰/۸۵۴	۰/۹۱۳	۰/۹۵۲	۰/۹۷۲	۰/۹۸۸	۲۶/۷۳	۲۸/۷۴	۳۰/۵۶	۳۲/۴۲	۳۴/۱۸	روش پیشنهادی

است. از سوی دیگر بررسی نتایج جداول مذکور نشان می‌دهد که روش پیشنهادی همواره یکی از دو بهترین نتیجه را در هر درصد نویز به خود اختصاص داده است.

برای ارزیابی بهتر کارایی روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های سخت افزاری، نتیجه حاصل از اعمال این روش‌ها در مورد تصاویر خاکستری گونه مجموعه [۲۴] محاسبه شده و متوسط PSNR و SSIM بدست آمده به ازای هر درصد نویز در جدول ۵ گزارش شده است. این مجموعه شامل تصاویر استاندارد رایج در حوزه پردازش تصویر مانند Cameraman, Bridge, Lake, Woman_darkhair, Blond_woman, Airplane, Pirate, Livingroom می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود اگر چه روش پیشنهادی در درصدهای نویز ۱۰ و ۲۰ دارای عملکردی مشابه با مراجع [۱] و [۱۹] است، اما در درصدهای نویز بالاتر موفق به ایجاد بهبود قابل ملاحظه‌ای در مقدار PSNR تصاویر حذف نویز شده، شده است.

برای درصدهای نویز بالاتر شامل ۶۰٪، ۷۰٪، ۸۰٪ و ۹۰٪ مقدار PSNR حاصل از اجرای روش پیشنهادی به ترتیب ۲۳/۱۴ dB، ۱۸/۹۵ dB، ۱۵/۰۶ dB و ۱۲/۲۳ dB و مقادیر

۷ در نظر گرفته شده است. در جدول ۱ تعداد کل تکرار ها و همچنین مقدار سطح آستانه T_5 پیشنهادی به ازای مقادیر مختلف پارامتر N نشان داده شده است.

۲-۵ نتایج کمی

در این قسمت نتایج بدست آمده از عملکرد روش پیشنهادی با روشهای حذف نویز نرم افزاری [۱۷-۱۳] [۲] و سخت افزاری [۱۸-۱۹] [۱] بر اساس دو معیار PSNR و SSIM مقایسه شده است. جداول ۲، ۳ و ۴ به ترتیب نتایج بدست آمده به ازای تصاویر Lena و Goldhill و Peppers در درصدهای نویز ۱۰٪ تا ۵۰٪ را نشان می‌دهد. دلیل انتخاب این تصاویر وجود نتایج متناظر به ازای آنها در مراجع مورد مقایسه می‌باشد. برای بررسی بهتر در هر ستون از جداول مذکور، دو بهترین نتیجه بصورت پررنگ نشان داده شده اند. همانطور که مشاهده می‌شود، در درصدهای نویز پایین (۱۰٪ و ۲۰٪) کارایی روش پیشنهادی قابل مقایسه با بهترین نتیجه گزارش شده در بین روشهای مقایسه شده می‌باشد. همچنین در درصدهای نویز بالاتر (۳۰٪ تا ۵۰٪) عملکرد روش پیشنهادی از روشهای سخت افزاری بهتر و با روشهای نرم افزاری قابل مقایسه

جدول ۴. مقایسه‌ی معیارهای PSNR و SSIM با درصدهای نویز مختلف در تصویر Peppers

درصد نویز										مرجع مقایسه شده
%۵۰	%۴۰	%۳۰	%۲۰	%۱۰	%۵۰	%۴۰	%۳۰	%۲۰	%۱۰	
SSIM					PSNR					
۰/۸۱۹	۰/۸۸۰	۰/۹۱۸	۰/۹۴۶	۰/۹۷۰	۲۷/۴۳	۲۹/۲۶	۳۱/۵۹	۳۳/۰۳	۳۵/۶۸	[۱۴]
-	-	-	-	-	۲۷/۰۲	۲۸/۸۹	۳۰/۱۰	۳۲/۵۰	۳۴/۵۰	[۱۷]
۰/۵۵۷	۰/۷۳۱	۰/۸۸۰	۰/۹۶۰	۰/۹۸۹	۲۰/۲۶	۲۳/۴۴	۲۷/۳۸	۳۲/۰۴	۳۶/۱۳	[۱۸]
۰/۸۳۵	۰/۹۱۲	۰/۹۵۶	۰/۹۷۶	۰/۹۸۷	۲۵/۷۵	۲۸/۶۹	۳۱/۰۸	۳۳/۵۹	۳۵/۹۱	[۱]
۰/۷۰۷	۰/۸۶۳	۰/۹۴۷	۰/۹۷۷	۰/۹۸۹	۲۳/۲۹	۲۷/۱۷	۳۰/۹۱	۳۳/۹۹	۳۶/۹۶	[۱۹]
۰/۸۷۱	۰/۹۳۳	۰/۹۶۴	۰/۹۷۸	۰/۹۹۰	۲۷/۱۷	۲۹/۷۱	۳۱/۷۷	۳۴/۰۹	۳۷/۳۰	روش پیشنهادی

جدول ۶ میزان تشخیص پیکسل‌های نویزی توسط روش پیشنهادی در درصد‌های مختلف نویز

درصد نویز	مرجع یا روش مقایسه شده					روش پیشنهادی
	%۵۰	%۴۰	%۳۰	%۲۰	%۱۰	
False Alarm	۷۶۰۲	۵۱۳۸	۳۵۶۵	۲۸۵۷	۲۶۷۴	[۱۸]
	۸۱۰۰	۶۵۸۰	۵۷۱۵	۵۳۴۸	۵۲۹۵	[۱]
	۵۶۶۲	۴۶۳۹	۴۱۶۸	۴۰۶۳	۴۱۹۴	[۱۹]
	۲۲۶۰۰	۱۳۲۸۳	۷۲۴۶	۳۰۶۱	۱۲۲۵	روش پیشنهادی
Missed Detection	۳۵۱۵۴	۲۳۹۶۰	۱۵۲۵۷	۹۰۱۸	۴۱۶۸	[۱۸]
	۲۱۴۹۶	۱۶۲۵۳	۱۱۶۶۵	۷۵۵۰	۳۶۷۰	[۱]
	۴۱۷۵۹	۲۷۸۶۵	۱۶۹۳۴	۹۳۳۲	۴۰۸۹	[۱۹]
	۱۴۹۶۸	۱۳۶۳۱	۱۱۰۱۰	۸۳۶۲	۴۵۰۸	روش پیشنهادی

نتایج نشان دهنده رضایت بخش بودن عملکرد روش پیشنهادی در مقابل با روش‌های مقایسه شده دارد.

۴-۵ بررسی تاثیر سطوح آستانه

در این بخش تاثیر مقادیر سطوح آستانه T_1 تا T_4 در کارایی روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور هر بار سه سطح آستانه (با توجه به مقادیر پیشنهادی برای آنها) ثابت در نظر گرفته شده و سطح آستانه باقی مانده در بازه ۰ تا ۲۵۵ و با گام ۱۶ تغییر داده می شود. به ازای هر تغییر، مقدار متوسط PSNR برای مجموعه تصاویر مرجع [۲۴] و در شرایط نویز ۳۰٪ محاسبه شده و نمودار بدست آمده در این فرایند (به ازای تغییر هر یک از سطوح آستانه) در شکل ۸ رسم شده است. بعنوان مثال در شکل ۸-الف سطوح آستانه T_2 تا T_4 به ترتیب برابر با مقادیر پیشنهادی ۳۰، ۱۰۰ و ۱۰ در نظر گرفته شده و مقدار متوسط PSNR به ازای تغییر سطح آستانه T_1 از ۰ تا ۲۵۵ محاسبه و رسم شده است. بررسی نتایج بدست آمده نشان می دهد که روش پیشنهادی حساسیت بیشتری نسبت به تغییر سطوح آستانه T_2 و T_4 در

SSIM برای این درصد‌های نویز به ترتیب ۰/۶۹۷، ۰/۴۵۹، ۰/۲۴۲ و ۰/۱۰۰ می باشد.

در جدول ۶ نتایج آماری مربوط به روش پیشنهادی در تشخیص پیکسل های نویزی از پیکسل‌های غیر نویزی گزارش شده است. در این جدول پارامتر False Alarm نشان دهنده متوسط تعداد پیکسل‌های غیر نویزی ای است که نویزی شناسایی شده اند و پارامتر Missed Detection متوسط تعداد پیکسل‌های نویزی ای را نشان می دهد که غیر نویزی تشخیص داده شده اند. در روش پیشنهادی در صورتیکه پیکسل نویزی، نویز تشخیص داده نشود به مرحله بازسازی نیز وارد نشده و این نویز در تصویر باقی می ماند. بررسی نتایج جدول ۶ در مورد پارامتر Missed Detection، نشان دهنده قابلیت مناسب روش پیشنهادی در تشخیص نویز در درصد های نویز ۲۰٪ تا ۵۰٪ است. بطوریکه روش پیشنهادی در این شرایط، همواره یکی از دو بهترین نتیجه را به خود اختصاص داده است.

از سوی دیگر اگر پیکسل غیر نویزی، بعنوان نویز شناسایی شود این احتمال وجود دارد که در مرحله بازسازی سطح روشنایی آن تغییر کمی داشته و با یکی از پیکسل‌های شبیه هم سایه و یا ترکیب خطی ای از آنها جایگزین شود. اگر چه روش پیشنهادی در درصد های نویز ۳۰٪ تا ۵۰٪ در مقایسه با سایر روشها تعداد بیشتری از پیکسل‌های غیر نویزی را نویزی تشخیص داده است (False Alarm) ولی نتایج کمی بدست آمده از مرحله بازسازی (جدول ۵) نشان دهنده بهبود ۰/۶۶ dB تا ۲/۰۲ dB در معیار PSNR و ۰/۰۱ تا ۰/۰۴ در معیار SSIM نسبت به سایر روشهای مقایسه شده در این درصد های نویز می باشد. این امر نشان دهنده عملکرد مناسب روش پیشنهادی در بخش بازسازی پیکسها است.

۳-۵ نتایج کیفی

در شکل ۷، نتایج بصری مربوط به حذف نویز چهار تصویر Goldhill، Airplane، Peppers، Lena به ازای نویز ۴۰ درصد نشان داده شده است. برای مقایسه بهتر نتایج بدست آمده از مراجع [۱۸-۱۹] که روشهای سخت افزاری ارائه شده برای حذف نویز ضربه ای با مقدار تصادفی هستند آورده شده است. بررسی

جدول ۵. مقایسه روش های مختلف دارای ساختار سخت افزاری با روش حذف نویز پیشنهادی در مورد تصاویر مرجع [۲۴]

درصد نویز										مرجع یا روش مقایسه شده
%۵۰	%۴۰	%۳۰	%۲۰	%۱۰	%۵۰	%۴۰	%۳۰	%۲۰	%۱۰	
SSIM					PSNR					
۰/۵۵۳	۰/۷۱۶	۰/۸۶۴	۰/۹۵۷	۰/۹۸۸	۲۰/۰۵	۲۳/۱۹	۲۶/۹۷	۳۱/۳۰	۳۵/۴۱	[۱۸]
۰/۸۲۰	۰/۹۱۰	۰/۹۵۴	۰/۹۷۵	۰/۹۸۶	۲۴/۷۸	۲۸/۰۱	۳۰/۹۲	۳۳/۵۶	۳۶/۱۰	[۱]
۰/۶۹۵	۰/۸۵۷	۰/۹۴۷	۰/۹۸۰	۰/۹۹۱	۲۳/۰۳	۲۶/۷۵	۳۰/۳۹	۳۳/۵۹	۳۶/۴۷	[۱۹]
۰/۸۶۱	۰/۹۳۴	۰/۹۶۴	۰/۹۸۰	۰/۹۹۱	۲۶/۸۰	۲۹/۴۴	۳۱/۵۸	۳۳/۵۳	۳۶/۴۶	روش پیشنهادی

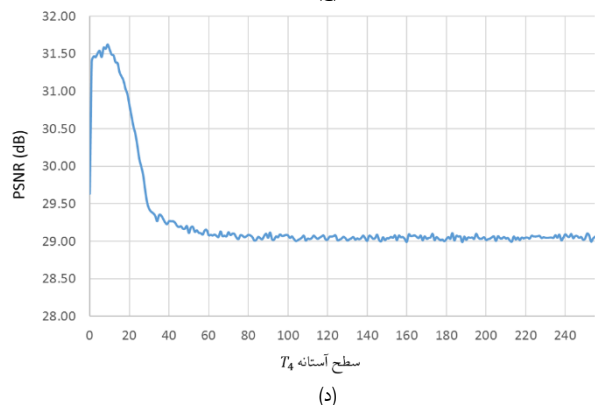
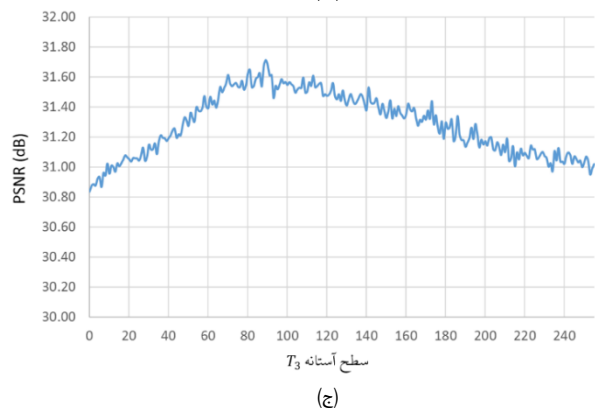
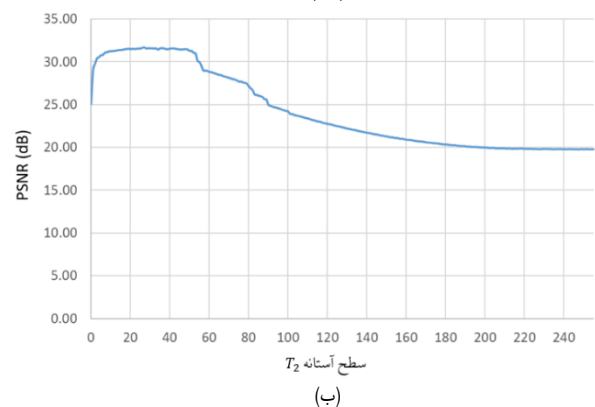
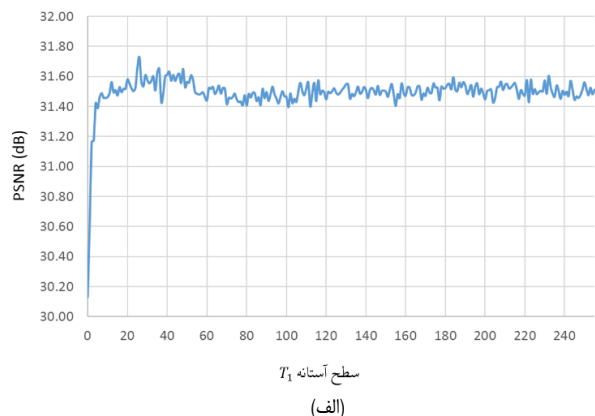


شکل ۷ مقایسه کیفی نتایج حاصل از روش پیشنهادی و روشهای ارائه شده در مراجع [۱۸-۱۹] در نویز ۴۰٪

۵-۵ پیاده سازی سخت افزاری

معماری پیشنهادی برای پیاده سازی سخت افزاری روش ارائه شده، روی FPGA مدل Virtex6 xc6vex75t از شرکت Xilinx پیاده

مقایسه با تغییر دو سطح آستانه دیگر دارد. از سوی دیگر با توجه به مقادیر PSNR بدست آمده، سطوح آستانه پیشنهادی می تواند انتخاب مناسبی در چاقوب بررسی شده باشند.



شکل ۸ تاثیر تغییر سطوح آستانه در مقدار PSNR در مورد تصاویر مجموعه مرجع [۲۴] به ازای نویز ۳۰٪

سازی شده است. در پیاده سازی انجام شده تعداد Slice های استفاده شده برابر ۹۸۰۱ و مدت زمان لازم برای پردازش یک پیکسل از تصویر ورودی در این تراشه ۹۵/۸ نانو ثانیه بدست آمده است. با توجه به وابسته بودن تعداد تکرارهای الگوریتم پیشنهادی به وضعیت تصویر ورودی از نظر مقدار نویز، مدت زمان لازم جهت پردازش یک تصویر (T_{Total}) با ابعاد W در H از رابطه (۴) قابل محاسبه است.

$$T_{Total} = H \cdot W \cdot T_{Pixel} \cdot K \quad (4)$$

در این رابطه T_{Pixel} ، مدت زمان لازم جهت پردازش یک پیکسل و K تعداد تکرارهای الگوریتم می باشد. بعنوان مثال با توجه به رابطه (۴)، زمان لازم برای پردازش تصویری با ابعاد ۲۵۶ در ۲۵۶ و با نویز حدود ۲۰ درصد، برابر با ۱۲/۵۶ میلی ثانیه است. در جدول ۷ نتایج حاصل از پیاده سازی سخت افزاری روش پیشنهادی و مراجع [۱]، [۱۹-۱۸] در کنار مقدار متوسط PSNR حاصل از هر روش به ازای مجموعه تصاویر مرجع [۲۴] و در مواجه با نویز ۵۰ درصد گزارش شده است. همانطور که مشاهده می شود روش پیشنهادی علیرغم تاخیر بیشتر، از متوسط PSNR بالاتری برخوردار است. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده (به عنوان مثال) به ازای تصویری با ابعاد ۲۵۶ در ۲۵۶ و نویز ۲۰ درصد، نرخ فریم بر ثانیه برابر با ۷۹/۶۳ می باشد که حکایت از قابلیت پیاده سازی سخت افزاری مناسب روش پیشنهادی دارد.

۶ نتیجه گیری

در این مقاله روشی برای حذف نویز ضربه ای به صورت تصادفی با دیدگاه سخت افزاری ارائه شد. روش پیشنهادی بر اساس بررسی وضعیت هر پیکسل و تعیین ناحیه مربوط به آن (شامل لبه، شلوغ و هموار) پایه ریزی شد. در ادامه وجود یا عدم وجود نویز در پیکسلهای مربوط به هر ناحیه انجام گرفت و در نهایت باز سازی مقادیر پیکسلهای نویزی متناسب با ناحیه تعیین شده صورت پذیرفت. بررسی نتایج بدست آمده نشان داد که روش پیشنهادی علاوه بر قابلیت پیاده سازی سخت افزاری، از کارایی قابل قبولی در بین روشهای مقایسه شده برخوردار است. بطوریکه کیفیت تصاویر حذف نویز شده توسط آن بهتر و یا قابل مقایسه با روشهای سخت افزاری و نرم افزاری مقایسه شده بود. برای ادامه کار و در راستای کاهش زمان پردازش روش پیشنهادی، می توان از تکنیکهایی مانند موازی سازی و خط لوله در طراحی معماری پیشنهادی بهره برد.

جدول ۷. مقایسه مشخصات پیاده سازی سخت افزاری روش پیشنهادی با مراجع [۱۸-۱۹]

مرجع مقایسه شده	Target Device	Area	Delay (ns)	میانگین PSNR به ازای نویز ۵۰ درصد در مجموعه تصاویر [۲۴]
[۱۸]	Altera Cyclone II EP2C20F484C7N	۵۱۳ (Logic cell)	۷/۷۲	۲۰/۰۵
[۱]	Altera FLEX10KE EPF10K200-SRC240-1	۲۱۶۶ (Logic cell)	۱۴/۹۰	۲۴/۷۸
[۱۹]	Xilinx virtex4 xc4vfx12-12-sf363	۱۸۴۱ (Slice)	۳۱/۵۹	۲۳/۰۳
روش پیشنهادی	Xilinx virtex6 xc6vcx75t-2-ff484	۹۸۰۱ (Slice)	۹۵/۸۰	۲۶/۸۰

مراجع

- [12] B. Xiong, and Z. Yin, "A universal denoising framework with a new impulse detector and nonlocal means," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 21, pp. 1663-1675, 2012.
- [13] V.S. Bhadouria, and D. Ghoshal, "A study on genetic expression programming-based approach for impulse noise reduction in images," *Signal, Image and Video Processing*, vol. 10, pp. 575-584, 2016.
- [14] S.G. Javed, A. Majid, A.M. Mirza and A. Khan. "Multi-denoising based impulse noise removal from images using robust statistical features and genetic programming," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 75, pp. 5887-5916, 2016.
- [15] B. Deka, M. Handique, and S. Datta, "Sparse regularization method for the detection and removal of random-valued impulse noise," *Multimedia Tools and Application*, vol. 76, no. 5, pp. 6355-6388, 2017.
- [16] N. U. Khan, K. V. Arya, and M. Pattanaik, "Edge preservation of impulse noise filtered images by improved anisotropic diffusion," *Multimedia Tools and Application*, vol. 73, no.1, pp. 573-597, 2014.
- [17] J. Wu and C. Tang, "PDE-Based Random-Valued Impulse Noise Removal Based on New Class of Controlling Functions," *IEEE Transaction on Image Processing* vol. 20, no. 9, pp. 2428-2438, 2011.
- [18] T. Matsubara, V. G. Moshnyaga, and K. Hashimoto, "A FPGA implementation of low-complexity noise removal," in *17th IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS)*, pp. 255-258, 2010.
- [19] Z. HosseinKhani et al., "Real-time removal of random value impulse noise in medical images," *IEEE International Conference In Pattern Recognition (ICPR)*, pp. 3916-3921, 2016.
- [20] Z. HosseinKhani et al., "Real-Time Impulse Noise Removal from MR Images for Radiosurgery Applications," *arXiv:1707.05975*, 2017.
- [21] V.S. Bhadouria et al., "A Novel Image Impulse Noise Removal Algorithm Optimized for Hardware Accelerators," *Journal of Signal Processing Systems*, vol. 89, pp. 225-242, 2017.
- [22] Fahmy, S. A., Cheung, P. Y. and Luk, W., "Novel FPGA-based implementation of median and weighted median filters for image processing," in *International Conference on Field Programmable Logic and Applications*, pp. 142-147, 2005.
- [23] H.Z. HosseinAbadi, S. Samavi, and N. Karimi, "Low Complexity Median Filter Hardware for Image Impulsive Noise Reduction," *Information Systems & Telecommunication*, pp. 85-94, 2014.
- [1] C.Y. Lien, C.C. Huang, P.Y. Chen, and Y.F. Lin, "An efficient denoising architecture for removal of impulse noise in images," *IEEE Transactions on computers*, vol. 62, pp. 631-643, 2013.
- [2] I. Turkmen, "The ANN based detector to remove random-valued impulse noise in images," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 34, pp. 28-36, 2016.
- [3] P.Y. Chen, C.Y. Lien, and H.M. Chuang, "A low-cost VLSI implementation for efficient removal of impulse noise," *IEEE Transactions on VLSI Systems*, vol. 18, pp. 473-481, 2010.
- [4] F. Ahmed, and S. Das, "Removal of high-density salt-and-pepper noise in images with an iterative adaptive fuzzy filter using alpha trimmed mean," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 22, pp. 1352-1358, 2014.
- [5] A.H. Pilevar, S. Saien, M. Khandel, and B. Mansoori, "A new filter to remove salt and pepper noise in color images," *Signal, Image and Video Processing*, vol. 9, pp. 779-786, 2015.
- [6] K. Vasanth, and V.J.S. Kumar, "Decision-based neighborhood referred unsymmetrical trimmed variants filter for the removal of high-density salt-and-pepper noise in images and videos," *Signal, Image and Video Processing*, vol. 9, pp.1833-1841, 2015.
- [7] Z. HosseinKhani et al., "Adaptive Real-Time Removal of Impulse Noise in Medical Images," *Journal of Medical Systems*, vol. 42, pp. 1-9, 2018.
- [8] U. Ghanekar, A.K. Singh, and R. Pandey, "A contrast enhancement-based filter for removal of random valued impulse noise," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 17, pp. 47-50, 2010.
- [9] J. Mandal, and S. Mukhopadhyay, "A novel variable mask median filter for removal of random valued impulses in digital images (VMM)," in *International Symposium on Electronic System Design (ISED)*, pp. 302-306, 2011.
- [10] C.Y. Lien, C.C. Huang, P.Y. Chen, and H.Y. Yang, "An efficient denoising approach for random-valued impulse noise in digital images," in *Second International Conference on Innovations in Bio-inspired Computing and Applications (IBICA)*, pp. 13-16, 2011.
- [11] T. Mélangé, M. Nachtgael, and E. E. Kerre, "Fuzzy random impulse noise removal from color image sequences," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 20, pp. 959-970, 2011.



شادرخ سماوی استاد گروه معماری و هوش مصنوعی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر در دانشگاه صنعتی اصفهان است. وی همچنین استاد وابسته در گروه مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه مک‌مستر در کانادا و پژوهشگر وابسته به گروه طب اورژانس دانشگاه میشیگان در آن آربر، ایالات متحده

آمریکا است. ایشان دارای پروانه مهندسی حرفه (PE)، عضو ارشد IEEE و عضویت افتخاری در انجمن‌های Tau Beta Pi و Eta Kappa Nu است. وی تحصیلات دانشگاهی خود را با دریافت مدرک کارشناسی در رشته فناوری صنعتی از دانشگاه ایالتی کالیفرنیا آغاز کرد و سپس مدرک کارشناسی دیگری در رشته مهندسی برق از همان دانشگاه دریافت نمود. همچنین، مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر را از دانشگاه ممفیس و مدرک دکتری مهندسی برق را از دانشگاه ایالتی می‌سی‌سی‌پی در آمریکا اخذ کرده است. حوزه‌های اصلی فعالیت‌های پژوهشی وی در زمینه بینایی ماشین، یادگیری ماشین و کاربردهای هوش مصنوعی است.

[24] Image Databases,
http://www.imageprocessingplace.com/downloads_V3/root_downloads/image_databases/standard_test_images.zip



زهره حسینیخانی دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر از دانشگاه صنعتی اصفهان است. وی مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر را نیز در دانشگاه صنعتی اصفهان گذرانده است. زمینه اصلی فعالیت‌های پژوهشی وی در سال‌های اخیر بر اینترنت اشیا، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ارتباطات بی‌سیم کم‌مصرف، یادگیری ماشین و پردازش تصویر متمرکز بوده است.



نادر کریمی دانشیار گروه معماری و هوش مصنوعی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر در دانشگاه صنعتی اصفهان است. فعالیت‌های پژوهشی وی در زمینه یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، پردازش و آنالیز و تصاویر، بینایی ماشین و فشرده سازی داده می باشد.



محسن حاج عبداللہی دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان است. زمینه‌های پژوهشی او شامل یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و پردازش تصاویر پزشکی است. فعالیت‌های تحقیقاتی وی بر توسعه و بهینه‌سازی شبکه‌های عصبی کانولوشنی، هرس شبکه‌های عصبی و انتقال دانش متمرکز است. از دیگر علایق پژوهشی او می‌توان به تشخیص و قطعه‌بندی خودکار ناهنجاری‌ها در تصاویر پزشکی و طراحی مدل‌های یادگیری عمیق کارآمد برای سامانه‌های دارای محدودیت محاسباتی اشاره کرد.

⁹ Sliding Mean Vector

¹⁰ Jittery

¹¹ Subtractor

¹² Comparator

¹³ Grayscale

¹⁴ Peak Signal-to-Noise Ratio

¹⁵ Structural Similarity Index

¹⁶ Step Size

¹ Impulse Noise

² Fixed-Valued Impulse Noise

³ Random-Valued Impulse Noise

⁴ Salt and Peppers Noise

⁵ Block Matching

⁶ Robust Outlying Ratio

⁷ Sparse Representation

⁸ Anisotropic Diffusion