

طراحی و پیاده‌سازی سیستم رفع نویز ضربه برای تصاویر با استفاده از فیلتر میانه- میانگین تطبیقی بر پایه FPGA

مسلم خانه بابائی^۱، علی سلیمانی ایوری^۲

^۱ گروه الکترونیک، دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، khanebabaei@shahroodut.ac.ir

^۲ دانشیار و عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، solimani_ali@shahroodut.ac.ir

چکیده

یکی از مباحث اصلی در پردازش تصویر، حذف نویز ضربه‌ای فلفل و نمک از تصاویر دیجیتال است. این نویز باعث از بین بردن اطلاعات و جزئیات در تصاویر می‌شود. هدف این مقاله طراحی الگوریتمی با استفاده از ترکیب فیلترهای میانه و میانگین برای حذف نویز ضربه‌ای از تصاویر خاکستری و رنگی است که علاوه بر بازدهی بالا در رفع نویز، دارای حجم و محاسبات پیچیده‌ای نیز نباشد. روش پیشنهادی از دو مرحله شناسایی نویز و رفع نویز تشکیل شده است. در ابتدا با در نظر گرفتن مقادیر آستانه پایین و بالا به شناسایی پیکسل نویز پرداخته می‌شود، در مرحله دوم با استفاده از فیلترهای میانه و میانگین تطبیقی و بر اساس اطلاعات همسایگی مرتبه اول و همسایگی قطری، برای پیکسل‌های نویزی تصمیم‌گیری می‌شود. در ادامه، الگوریتم پیشنهادی با چند کار گذشته در چگالی‌های مختلف نویز ضربه با استفاده از شاخص‌های ارزیابی نسبت بیشینه سیگنال به نویز و خطای میانگین مربعات مقایسه می‌گردد. نتایج بصری و عددی نشان از عملکرد خوب روش پیشنهادی در حذف نویز ضربه است. در پایان با توجه به ویژگی‌های پردازش موازی و بلادرنگ پردازنده FPGA، الگوریتم ارائه شده با استفاده از زبان توصیف سخت‌افزار VHDL بر روی تراشه Xilinx Spartan-6 سری XC6SLX9 نوشته، سنتز و پیاده‌سازی می‌شود. میزان توان مصرفی کل، بیشینه فرکانس خروجی و متوسط زمان عملیات رفع نویز در FPGA برای یک تصویر رنگی با اندازه ابعاد ۲۵۶×۲۵۶، به ترتیب ۱۴ میلی‌وات، ۴۲/۱۸۶ مگاهرتز و ۱/۲۹۹ ثانیه به دست آمده است که نشان از عملکرد بهینه و سریع سیستم طراحی شده است.

واژه‌های کلیدی

رفع نویز ضربه، فیلتر میانه، فیلتر میانگین، اطلاعات همسایگی، VHDL، FPGA.

۱- مقدمه

پیاده‌سازی یک سیستم رفع نویز ضربه برای تصاویر دیجیتالی با استفاده از اطلاعات همسایگی است. در ادامه به مروری از کارهای گذشته در زمینه رفع نویز ضربه پرداخته می‌شود. یکی از مباحث مهم در پردازش تصویر، حذف نویز ضربه‌ای از تصاویر دیجیتال است. نویز ضربه‌ای فلفل و نمک به طور تصادفی نقاطی با رنگ‌های سفید (نمک) و سیاه (فلفل) بر روی تصویر ایجاد می‌کند که باعث از بین بردن اطلاعات تصویر می‌شود. این نوع نویز اغلب بر اثر خطاهای موجود در مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال، انتقال بیت‌ها در تصاویر، شرایط جوی و شدت نور محیط به وجود می‌آید [۱]. فیلتر میانه استاندارد یکی از مهم‌ترین فیلترهای دیجیتال است که برای رفع نویز ضربه‌ای استفاده می‌شود. روش کار این فیلتر به این صورت است که ابتدا کل پیکسل‌های همسایگی به صورت صعودی مرتب می‌شود و سپس عنصر وسط پیکسل‌های مرتب شده را انتخاب کرده و جایگزین پیکسل مرکزی می‌گردد [۲]. در این روش پیکسل‌های غیر نویزی نیز دچار تغییر می‌گردد

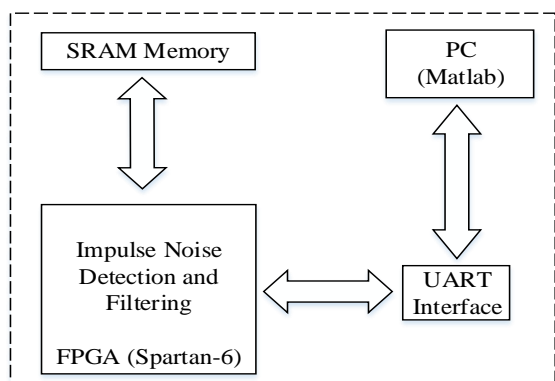
پردازش سریع اطلاعات از دیر باز مورد نظر بوده و سعی شده است با ارائه سخت‌افزارها، الگوریتم‌های مناسب و روش‌های برنامه‌نویسی خاص از جمله پردازش موازی، تا اندازه‌ای به این مهم نائل آیند و با توجه به نیاز، آن را توسعه دهند. یکی از سخت‌افزارهایی که جدیداً با پیشرفت تکنولوژی استفاده عملی پیدا کرده است، FPGAها هستند. اکنون با کمک یک یا چند FPGA به همراه قطعات جانبی، سخت‌افزارهایی ارائه می‌گردد که می‌توانند مسائلی با بار محاسباتی بالا را اجرا کنند، یکی از این مسائل، پردازش بلادرنگ سیگنال‌های تصویر و ویدئو است. الگوریتم‌های پردازش تصویر عموماً الگوریتم‌های پیچیده و حجیمی هستند، از سوی دیگر در بسیاری از موارد ضروری است الگوریتم‌های پردازش تصویر به صورت بلادرنگ اجرا شود، بنابراین FPGAها انتخاب ایده‌آلی برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های پردازش تصویر می‌باشند. در این مقاله هدف طراحی و

¹ Field- Programmable Gate Array (FPGA)

سپس جایگزین پیکسل مرکزی P_{ij} می‌شود. این روند برای کل پیکسل‌های تصویر نویزی انجام می‌شود تا تصویر رفع نویز شده، بازیابی گردد.

۳- ساختار سیستم پیشنهادی

ساختار سیستم پیشنهادی در شکل ۳ نشان داده شده است. این سیستم از چهار بخش اصلی کامپیوتر، ارتباط سریال^۱ UART، پردازنده FPGA و حافظه خارجی^۲ SRAM تشکیل شده است. از آنجا که نرم‌افزار متلب ارتباط سریال را پشتیبانی می‌کند، با استفاده از متلب نسخه R2015b در یک کامپیوتر ۶۴ بیتی با پردازنده Core(TM)i5-3337U و فرکانس کاری ۱/۸ گیگاهرتز که میزان حافظه RAM آن شش گیگابایت است، اطلاعات تصویر نویزی از طریق ارتباط سریال به تراشه FPGA ارسال می‌شود و در انتها نیز اطلاعات تصویر رفع نویز شده توسط ارتباط سریال متلب دریافت می‌گردد. ارتباط سریال از یک فرستنده و گیرنده تشکیل شده است، در اصل فرستنده یک شیفت رجیستر خاص است که داده‌ها را به صورت موازی بارگیری کرده و سپس آن‌ها را بیت به بیت با یک نرخ ارسال معین به خارج ارسال می‌کند. از سوی دیگر گیرنده اطلاعات را به صورت بیت به بیت دریافت می‌کند. برای ایجاد یک ارتباط سریال صحیح، ابتدا باید پارامترهایی از قبیل تعداد بیت‌های داده، بیت شروع، بیت توقف، نرخ ارسال یا بادریت و بیت توازن را بین فرستنده و گیرنده تعیین کرد. در ارتباط سریال ما از هشت بیت داده، یک بیت شروع، یک بیت توقف، نرخ ارسال ۹۲۱۶۰۰ بیت بر ثانیه و بدون هیچ بیت توازی استفاده شده است. پردازنده FPGA مهم‌ترین بخش سخت‌افزار می‌باشد. تراشه استفاده شده در این پروژه، محصولی از خانواده Xilinx Spartan-6 سری XC6SLX9 می‌باشد. پس از آن که پردازنده اطلاعات تصویر نویزی را از طریق ارتباط سریال دریافت کرد، آن‌ها را به صورت بایت به بایت در حافظه خارجی SRAM ذخیره می‌کند. در ادامه بر اساس الگوریتم پیشنهادی، پیکسل‌های مدنظر از حافظه خارجی فراخوانی شده و پردازش می‌شوند. در ادامه مجدداً پیکسل‌های رفع نویز شده در حافظه خارجی ذخیره می‌گردد. در پایان نیز تصویر بدون نویز با استفاده از ارتباط سریال برای نرم‌افزار متلب، جهت نمایش ارسال خواهد شد. لازم به ذکر است که از فرکانس ۲۴ مگاهرتز برای پالس ساعت برد FPGA استفاده شده است.



شکل ۳: ساختار سیستم پیشنهادی برای رفع نویز ضربه

در ادامه پنجره‌ای مانند شکل ۲ به عنوان پیکسل‌های همسایگی برای تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود. همانطور که گفته شد، الگوریتم پیشنهادی دارای دو مرحله شناسایی نویز و عملیات رفع نویز می‌باشد. در ادامه به شرح این الگوریتم پرداخته خواهد شد. برای تمام پیکسل‌های P_{ij} که در آن $1 < i < M$ و $1 < j < N$ روال زیر انجام می‌شود.

۲-۱- مرحله شناسایی نویز ضربه

اگر $0 < P_{ij} < 255$ بود، پس پیکسل مرکزی P_{ij} غیر نویزی است و از آنجا که الگوریتم به صورت تطبیقی عمل می‌کند، پیکسل P_{ij} بدون تغییر می‌ماند و پنجره همسایگی یک واحد جابه جا می‌شود.

۲-۲- مرحله رفع نویز ضربه

در صورتی که پیکسل مرکزی P_{ij} در بازه مورد نظر نبود، پس P_{ij} پیکسلی نویزی است و باید مقداری مناسب برای آن تعیین گردد. از آنجا که در یک پنجره همسایگی 3×3 مقدار واقعی پیکسل مرکزی (در صورتی که در محل لبه قرار نداشته باشد) همبستگی زیادی با مقادیر پیکسل‌های همسایگی مرتبه اول و همسایگی قطری دارد، بنابراین با استفاده از این اطلاعات همسایگی، برای پیکسل نویزی تصمیم‌گیری می‌شود.

۲-۲-۱- اطلاعات همسایگی مرتبه اول

در ادامه پیکسل‌های همسایگی مرتبه اول که طبق شکل ۲ شامل پیکسل‌های $P_{i,j-1}$, $P_{i,j+1}$, $P_{i-1,j}$ و $P_{i+1,j}$ است، انتخاب می‌شود و سپس پیکسل‌های مفید و غیر نویزی از آن‌ها استخراج می‌شود. اگر تعداد پیکسل‌های غیر نویزی در همسایگی مرتبه اول بزرگتر از صفر بود، میانه آن‌ها محاسبه شده و جایگزین پیکسل مرکزی P_{ij} می‌شود. در صورتی که همه‌ی پیکسل‌های همسایگی مرتبه اول نویزی باشد، از اطلاعات موجود در همسایگی قطری استفاده می‌شود.

۲-۲-۲- اطلاعات همسایگی قطری

در این قسمت ابتدا پیکسل‌های همسایگی قطری که شامل پیکسل‌های $P_{i-1,j+1}$, $P_{i-1,j-1}$ و $P_{i+1,j-1}$ است، انتخاب می‌شود و سپس پیکسل‌های غیر نویزی را از آن‌ها استخراج کرده و میانگین آن‌ها جایگزین پیکسل مرکزی P_{ij} می‌شود. در صورتی که همه‌ی پیکسل‌های موجود در همسایگی قطری نیز نویزی بودند، اندازه ابعاد پنجره همسایگی افزایش داده خواهد شد.

۲-۲-۳- افزایش اندازه ابعاد پنجره همسایگی

با توجه به این که کلیه پیکسل‌های همسایگی 3×3 نویزی بود، اندازه ابعاد پنجره به 5×5 افزایش داده می‌شود. در ادامه پیکسل‌های غیر نویزی موجود در پنجره 5×5 را استخراج کرده و میانگین آن‌ها را جایگزین پیکسل مرکزی P_{ij} می‌شود. در صورتی که همه‌ی پیکسل‌های همسایگی نویزی بود، میانگین کل پیکسل‌های موجود در پنجره 5×5 محاسبه شده و

¹ Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART)

² Static Random Access Memory (SRAM)

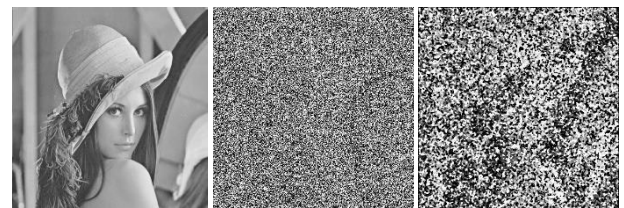
۴- نتایج پیاده‌سازی سخت‌افزاری

در این قسمت الگوریتم پیشنهادی به صورت سخت‌افزاری بر روی تصویر خاکستری Lena با اندازه ابعاد 512×512 اعمال شده و سپس با نتایج شبیه‌سازی سایر الگوریتم‌ها مقایسه می‌شود. نتایج بصری در شکل ۴ ارائه شده است. برای مقایسه عددی نتایج الگوریتم پیشنهادی با کارهای گذشته، از شاخص‌های ارزیابی نسبت بیشینه سیگنال به نویز (PSNR) و خطای میانگین مربعات (MSE) استفاده شده است. تابع ریاضی این شاخص‌ها در رابطه (۱) و (۲) مشاهده می‌گردد.

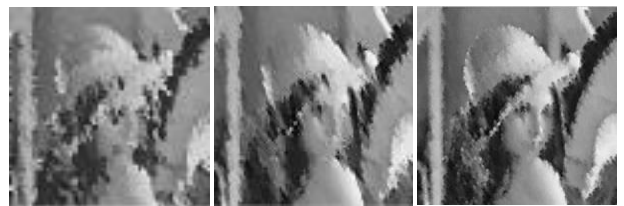
$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [F(i,j) - G(i,j)]^2 \quad (1)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

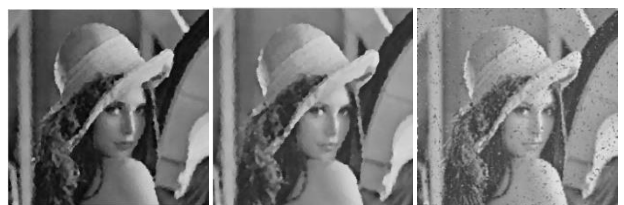
$F(i,j)$ تصویر اصلی، $G(i,j)$ تصویر بازیابی شده و $M \times N$ اندازه ابعاد تصویر اصلی می‌باشد.



(الف) (ب) (پ)



(ت) (ث) (ج)



(چ) (ح) (خ)

شکل ۴: (الف) تصویر اصلی Lena، (ب) تصویر اصلی با چگالی نویز ۹۰ درصد، (پ) AMF، (ت) Road، (ث) UTMF، (ج) MNF، (چ) ABMF، (ح) NMF، (خ) نتیجه حاصل از پیاده‌سازی سخت‌افزاری الگوریتم پیشنهادی

طبق نتایج شکل ۴، الگوریتم پیشنهادی در چگالی‌های بالای نویز، نسبت به سایر الگوریتم‌های عملکرد بهتری دارد و همچنین روشنایی و لبه‌های موجود در تصویر را به خوبی حفظ و بازیابی می‌کند.

در جدول ۱ و ۲ به ترتیب نتایج شاخص‌های ارزیابی PSNR و MSE برای الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم‌های ذکر شده در شکل ۴ در چگالی‌های نویزی ۱۰ درصد تا ۹۰ درصد نشان داده شده است.

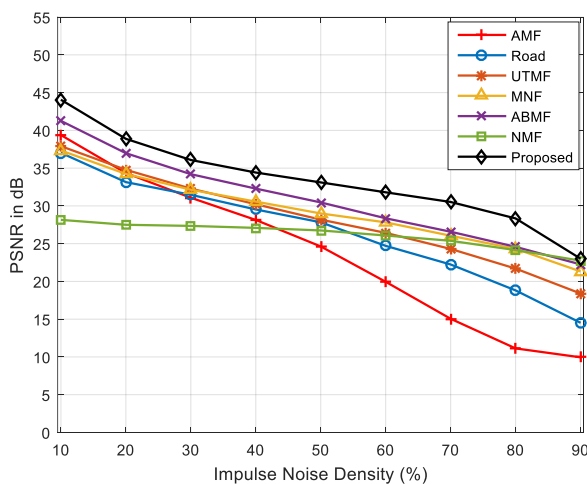
جدول ۱: نتایج PSNR الگوریتم‌ها برای تصویر Lena در چگالی‌های مختلف

ND (%)	AMF	Road	UTMF	MNF	ABMF	NMF	P.A
10	39.38	37.02	37.91	37.34	41.26	28.15	44.06
20	34.36	33.15	34.78	34.23	36.98	27.50	38.88
30	31.08	31.47	32.29	32.14	34.20	27.35	36.08
40	28.14	29.53	30.22	30.57	32.29	27.09	34.42
50	24.63	27.83	28.18	29	30.46	26.75	33.11
60	19.95	24.71	26.43	27.82	28.36	26.08	31.80
70	15.05	22.24	24.30	26.05	26.58	25.38	30.52
80	11.13	18.81	21.70	24.32	24.58	24.15	28.34
90	9.95	14.52	18.40	21.32	22.25	22.75	23.01

جدول ۲: نتایج MSE الگوریتم‌ها برای تصویر Lena در چگالی‌های مختلف

ND (%)	AMF	Road	UTMF	MNF	ABMF	NMF	P.A
10	7.49	12.91	10.84	11.99	4.86	99.55	2.55
20	23.81	31.48	21.63	24.55	13.03	115.6	8.09
30	50.6	46.35	38.37	39.72	24.72	119.6	16
40	99.74	72.45	61.81	57.02	38.37	127.1	23.46
50	223.75	107.17	98.87	81.86	58.48	137.4	31.75
60	656.75	219.82	147.93	107.41	94.85	160.3	42.89
70	2031	388.22	241.59	161.64	142.91	188.3	57.55
80	5007	855.22	439.62	240.48	226.5	250.1	95.25
90	6780	2296	939.89	479.82	387.32	345.2	324.52

در شکل ۵ و ۶ به ترتیب نمودار تغییرات PSNR و MSE الگوریتم‌ها بر حسب تغییرات چگالی نویز ضربه‌ای برای تصویر Lena رسم شده است.



شکل ۵: نمودار PSNR در چگالی‌های نویزی مختلف برای تصویر Lena

با توجه به نتایج پیاده‌سازی در شکل ۷، روش پیشنهادی در چگالی‌های مختلف نویز ضربه، عملکرد خوبی دارد. میزان شاخص‌های ارزیابی PSNR و MSE برای شکل ۷ در جدول ۳ ذکر شده است. در ادامه زمان اجرای عملیات رفع نویز ضربه در تصویر رنگی peppers با اندازه ابعاد ۲۵۶×۲۵۶ با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در محیط شبیه‌سازی نرم‌افزار متلب و پیاده‌سازی سخت‌افزاری مقایسه می‌گردد، نتایج مقایسه زمان پردازش در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳: میزان شاخص‌های PSNR و MSE برای تصویر رنگی peppers

Noise Density (%)	AMF		Proposed Algorithm	
	PSNR	MSE	PSNR	MSE
60	13.51	2895	29.50	72.83
90	6.86	13375	21.61	448.28

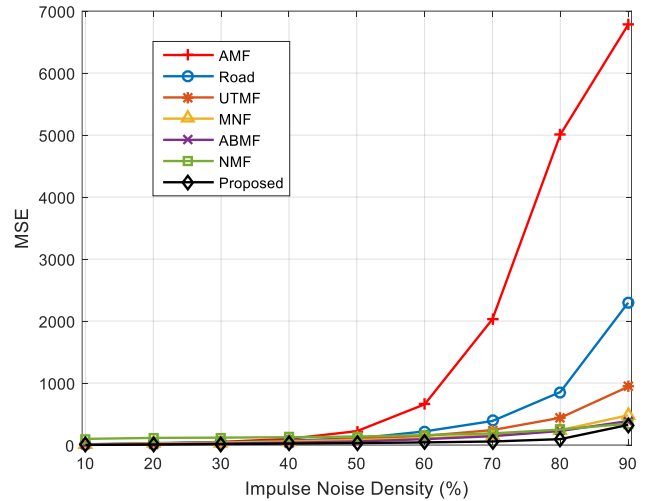
جدول ۴: زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی برای تصویر رنگی peppers

Time	Hardware Time processing		Software Time processing
	Serial Interface	FPGA	MATLAB
ND%			
30	4.782 sec	1.295 sec	8.720 sec
60	4.780 sec	1.297 sec	12.501 sec
90	4.804 sec	1.299 sec	19.925 sec

همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است، زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی در پیاده‌سازی سخت‌افزاری، کمتر از زمان اجرا در محیط شبیه‌سازی با متلب است. پس بنابراین انتخاب پردازنده FPGA برای اجرای الگوریتم‌های پردازش تصویر، امری صحیح و قابل قبول می‌باشد. لازم به ذکر است که اکثر زمان پردازش در پیاده‌سازی سخت‌افزاری، برای ارسال و دریافت اطلاعات تصویر بین نرم‌افزار متلب و برد از طریق ارتباط سریال صرف می‌شود، وگرنه زمان اجرای الگوریتم توسط تراشه FPGA مقداری کم است.

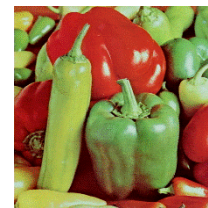
روش پیشنهادی با زبان توصیف سخت‌افزار VHDL در محیط نرم‌افزار ISE Design 14.7 سنتز و پیاده‌سازی شده است. VHDL از دو عبارت HDL^۱ و VHSIC^۲ تشکیل شده است. این زبان برای توصیف سخت‌افزاری مدارها و پردازش‌های دیجیتال در سرعت بالا کاربرد دارد. برای شبیه‌سازی پروژه مدنظر، از نرم‌افزارهای ISim و ModelSim استفاده شده است.

یکی از نکات مهم در پیاده‌سازی سخت‌افزاری الگوریتم‌ها، استفاده بهینه از منابع داخلی FPGA است. در این پروژه سعی بر این بوده که الگوریتم پیشنهادی تا حد امکان به صورت پردازش موازی انجام شود تا از منابع داخلی کمتری استفاده گردد. در جدول ۵ میزان استفاده از منابع داخلی تراشه برای اجرای الگوریتم پیشنهادی بر روی تصویری خاکستری Lena با اندازه ابعاد ۵۱۲×۵۱۲ ثبت شده است. با توجه به جدول ۵ میزان استفاده پروژه از منابع داخلی قابل قبول و بهینه می‌باشد.

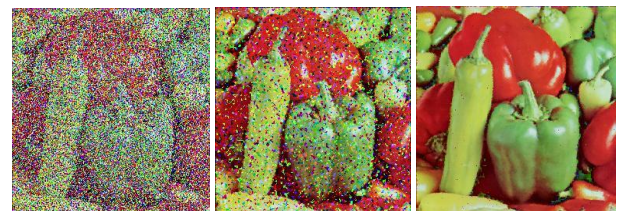


شکل ۶: نمودار MSE در چگالی‌های نویزی مختلف برای تصویر Lena

در شکل ۷ نتایج پیاده‌سازی سخت‌افزاری الگوریتم پیشنهادی و فیلتر میانه تطبیقی برای تصویر رنگی peppers با اندازه ابعاد ۲۵۶×۲۵۶ در چگالی‌های نویز ۶۰ درصد و ۹۰ درصد نشان داده شده است.



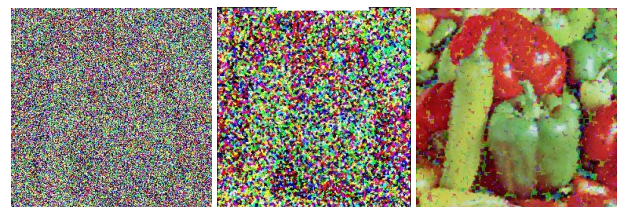
(الف)



(ب)

(پ)

(ت)



(ث)

(ج)

(چ)

شکل ۷: (الف) تصویر اصلی peppers، (ب) تصویر اصلی با چگالی نویز ۶۰ درصد، (پ) نتیجه فیلتر میانه تطبیقی برای (ب)، (ت) نتیجه الگوریتم پیشنهادی برای (ب)، (ث) تصویر اصلی با چگالی نویز ۹۰ درصد، (ج) نتیجه فیلتر میانه تطبیقی برای (ث)، (چ) نتیجه الگوریتم پیشنهادی برای (ث).

¹ Hardware Description Language (HDL)

² Very High Speed Integrated Circuits (VHSIC)

اساس مقادیر شاخص‌های ارزیابی نسبت بیشینه سیگنال به نویز (PSNR) و خطای میانگین مربعات (MSE) برای الگوریتم ارائه شده و کارهای گذشته در تصاویر نویزی یکسان، می‌توان گفت که روش پیشنهادی عملکرد بهتری در رفع نویز ضربه دارد. در پایان با توجه به ویژگی‌های FPGA مانند پردازش موازی و سرعت بالا، روش پیشنهادی با استفاده از زبان توصیف سخت‌افزار VHDL نوشته، سنتز و پیاده‌سازی گردید. تراشه مورد نظر محصولی از خانواده Xilinx Spartan-6 سری XC6SLX9 می‌باشد. میزان توان مصرفی کل، متوسط زمان پردازش و بیشینه فرکانس خروجی FPGA برای عملیات رفع نویز در یک تصویر رنگی با اندازه ابعاد 256×256 به ترتیب ۱۴ میلی‌وات، ۴۲/۱۸۶ مگاهرتز و ۱/۲۹۹ ثانیه به دست آمده است که نشان دهنده عملکرد بهینه و بسیار سریع سیستم طراحی شده می‌باشد.

مراجع

- [1] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- [2] J. Astola and P. Kuosmanen, Fundamentals of Nonlinear Digital Filtering. Boca Raton, FL: CRC, 1997.
- [3] S.-J. Ko and Y.-H. Lee, "Center weighted median filters and their applications to image enhancement," IEEE Transactions on Circuits and Systems, vol. 38, pp. 984-993, Sept. 1991.
- [4] Lin Yin, et.al, "Weighted Median Filters: A Tutorial," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, pp. 157-92, 1996.
- [5] H. Hwang and R. A. Haddad, "Adaptive Median Filters: New Algorithms and Results," IEEE Transactions on image processing, vol. 4, no. 4, April 1995.
- [6] Zhou Wang and David Zhang, "Progressive Switching Median Filter for the Removal of Impulse Noise from Highly Corrupted Images," IEEE Transactions on Circuits and Systems II, vol. 46, no. 1, January 1999.
- [7] Tao Chen and Hong Ren Wu, "Adaptive Impulse Detection Using Center-Weighted Median Filters," IEEE Signal Processing Letters, vol. 8, no. 1, January 2001.
- [8] V.R.Vijaykumar and et.al, "Decision based adaptive median filter to remove blotches, scratches, streaks, stripes and impulse noise in images," IEEE 17th International Conference on Image Processing, pp. 117-120, September 2010.
- [9] S. Esakkirajan, T. Veerakumar and et.al, "Removal of High Density Salt and Pepper Noise Through Modified Decision Based Unsymmetric Trimmed Median Filter," IEEE Signal Processing Letters, vol. 18, no. 5, May 2011.
- [10] T. Sunilkumar, A. SRINIVAS and et.al, "Removal of high density impulse noise through Modified Non-linear Filter," Journal of Theoretical and Applied Information Technology, vol. 47, no. 2, January 2013.
- [11] Sharma, Shachi, and Pranay Yadav, "Removal of fixed valued impulse noise by improved Trimmed Mean Median filter," IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, pp. 1-8, Dec 2014.
- [12] Suman Shrestha, "Image denoising using new Adaptive Based Median Filter," International Journal of Signal & Image Processing (SIPIJ), vol. 5, no. 4, 2014.
- [13] Geeta Hanji, M.V.Latte, "Performance Study of Novel Median Filter for Image De-Noising," International Journal of Computer Applications, vol. 122, no. 23, July 2015.

جدول ۵: میزان استفاده الگوریتم پیشنهادی از منابع داخلی FPGA

Logic Utilization	Used	Available	Utilization
Slice Registers	1909	11440	16%
Slice LUTs	2118	5720	37%
IOBs	33	102	32%
BUFG	1	16	6%
DSP48A1S	1	16	6%

از دیگر پارامترهای مهم در پیاده‌سازی می‌توان به میزان توان مصرفی کل، دمای کاری پیوند و بیشینه فرکانس خروجی FPGA اشاره کرد. هر چقدر که توان مصرفی تراشه کمتر باشد و فرکانس خروجی تراشه بیشتر باشد، پیاده‌سازی مورد نظر بهینه و سرعت اجرای عملیات بالاتر است. در جدول ۶ میزان توان مصرفی کل، دمای کاری و بیشترین فرکانس خروجی FPGA برای یک تصویر با اندازه ابعاد 512×512 نشان داده شده است.

جدول ۶: میزان توان مصرفی کل و مشخصات زمانی برای تراشه FPGA

Parameter	Value
Total power consumption	14 mw
Maximum output clock	42.186 MHz
Minimum period clock	23.704 nsec
Junction Temperature	25.5 C°

با توجه به نتایج جدول ۶، پیاده‌سازی پروژه مورد نظر عملکردی بهینه و بسیار سریع دارد. برد توسعه FPGA استفاده شده برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی در شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۸: برد FPGA استفاده شده برای پیاده‌سازی سخت‌افزاری

۵- نتیجه گیری

در این مقاله سیستمی برای رفع نویز ضربه‌ای فلفل و نمک از تصاویر خاکستری و رنگی با استفاده از ترکیب فیلتر میانه و میانگین تطبیقی و همچنین اطلاعات همسایگی مرتبه اول و همسایگی قطری بر پایه FPGA طراحی و پیاده‌سازی گردید. هدف طراحی الگوریتمی بوده است که علاوه بر بازدهی بالا در رفع نویز، دارای حجم و محاسبات کمی نیز باشد. بر