

ارائه یک فیلتر نوین فازی-ژنتیک برای حذف نویز تصاویر دیجیتال

سمیه علی اکبری^۱، محمد قاسم زاده^۲ و علی محمد لطیف^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران، aliakbari.somaye@stu.yazd.ac.ir

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران، m.ghasemzadeh@yazd.ac.ir

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران، alatijf@yazd.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک روش نوین برای حذف نویز از تصاویر دیجیتال ارائه می‌گردد. بکارگیری سیستم‌های فازی و همچنین الگوریتم ژنتیک قبلاً برای حذف نویز مورد توجه پژوهشگران بوده است. نوآوری روش پیشنهادی متکی بر انتقال سلول تصویری به یک محیط بدون نویز و تعیین قوانین و پارامترهای بهینه برای سیستم فازی حذف نویز مورد نظر با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد. لزوم و اهمیت انجام این تحقیق نیاز به روش‌های جدید حذف نویز با حفظ جزئیات تصویر اولیه بوده است. در روش پیشنهادی، ابتدا میانه‌های هشت همسایگی سلول‌های تصویری برای تعیین پارامترهای ورودی سیستم فازی محاسبه می‌گردند. برای تعیین اتوماتیک و هوشمندانه قوانین و پارامترهای توابع عضویت سیستم فازی مورد نظر یک الگوریتم ژنتیک طراحی و بکار گرفته می‌شود. کروموزوم‌های الگوریتم ژنتیک مورد نظر قوانین فازی یاد شده و پارامترهای توابع عضویت سیستم فازی پیشنهادی می‌باشند. فیلتر پیشنهادی پیاده‌سازی گردید و بر روی تصاویر استاندارد مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایشی حکایت از قابلیت آن در حذف نویز تصاویر با حفظ جزئیات دارند. تحلیل‌های منطقی و نتایج آزمایشی همچنین نشان می‌دهند که مزیت اصلی این فیلتر توانایی آن در حذف نویز با چگالی بالا می‌باشد.

کلیدواژه‌ها - حذف نویز، سیستم فازی، پارامترهای سیستم فازی، الگوریتم ژنتیک.

۱. مقدمه

دو گونه دیگر از آن تحت عنوان فیلتر میانه وزن دار^۱ [۳] و فیلتر میانه مرکز وزن دار^۲ [۴] ارائه شده‌اند. این فیلترها قابلیت حفظ لبه‌ها و جزئیات تصویر را تا حدی دارند. این فیلترها اپراتورهای ثابت مکانی هستند که صرف نظر از رفتار فیلتر تمایزی بین پیکسل‌های نویز و بدون نویز تصویر ورودی قائل نیستند.

علاوه بر فیلترهای مبتنی بر میانه، انواع مختلفی از فیلترهای میانگین و همچنین فیلترهای غیرخطی مبتنی بر روش‌های محاسبات نرم برای حذف نویز ارائه شده‌اند [۵، ۶]. مواردی از به کارگیری اولیه سیستم‌های فازی و فازی-عصبی در حذف نویز تصاویر دیجیتال در مقاله‌های علمی دیده می‌شود [۷]. به علت وجود عدم قطعیت در مورد نویزی بودن پیکسل‌های یک تصویر، هیچ‌کدام از روش‌های ذکر شده کارایی قابل قبولی در حذف نویز تصاویر دیجیتال ندارند و ممکن است برخی از پیکسل‌های نویزی

تصاویر اغلب به علت خطا در سنسورها و یا ضمن انتقال، به نویز آلوده می‌شوند. نویز موجود در تصویر کارایی عملیات بعدی پردازش تصویر از جمله تشخیص لبه، قطعه‌بندی، تشخیص اشیاء و مانند آن را کاهش می‌دهد. قبل از انجام هر توالی از عملیات پردازش تصویر باید نویز موجود در تصویر حذف شود. روش‌های زیادی برای حذف نویز تصاویر دیجیتال ارائه شده است [۱]. تعداد قابل توجهی از این روش‌ها بر مبنای فیلترهای آماری هستند. مشهورترین این فیلترها، فیلتر استاندارد میانه است که با تغییر دادن مقدار پیکسل مرکزی با میانه پیکسل‌های موجود در پنجره فیلتر سعی در حذف نویز از پیکسل مرکزی دارد [۲]. مزایای این روش ساده بودن، داشتن هزینه محاسباتی پایین و کارایی قابل قبول در حذف نویز است. از معایب فیلتر میانه تار شدن جزئیات تصویر حتی در محیط‌های با نویز کم است. برای رفع این مشکل

^۱ Weighted Median Filter

^۲ Center-Weighted Median Filter

پردازش دیجیتال تصویر برای حذف نویز از تصاویر آسیب دیده استفاده می‌شود. از سیستم فازی برای تشخیص پیکسل نویزی استفاده می‌شود و با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهترین قوانین و پارامترهای مطلوب توابع عضویت فازی برای سیستم پایگاه دانش فازی تعیین می‌شود.

ساختار این مقاله به صورت زیر است در بخش دوم مدل نویز ضربه معرفی می‌شود و دلیل برتری روش فازی در تشخیص پیکسل‌های نویزی بیان می‌شود. در بخش سوم روش جایگزینی پیکسل‌های نویزی ارائه می‌گردد. بخش چهارم به نحوه استفاده از الگوریتم‌های تکاملی در تشخیص و پیدا کردن قواعد و پارامترهای بهینه توابع عضویت سیستم فازی اختصاص دارد. در بخش ۵ نتایج حاصل از آزمایش‌ها بررسی می‌شود و نتایج حاصل فیلتر پیشنهادی با برخی تکنیک‌های دیگر مقایسه می‌شود. در بخش آخر نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

۲. مدل نویز ضربه و تشخیص نویز با سیستم فازی

کیفیت یک تصویر اغلب به علت انواع نویز کاهش می‌یابد. اگر $O(i, j)$ و $E(i, j)$ به ترتیب نشان دهنده‌ی سطح خاکستری پیکسل با موقعیت (i, j) در تصویر اصلی و تصویر بازیابی شده باشد مدل نویز ضربه با احتمال نویز P_n طبق رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$E(i, j) = \begin{cases} O(i, j) & \text{with probability } 1 - p_n \\ N(i, j) & \text{with probability } p \end{cases} \quad (1)$$

رایج‌ترین نوع نویز ضربه نویز لفل فل نمکی است که پیکسل‌های آسیب دیده تنها دارای دو مقدار ۰ یا ۲۵۵ هستند. روش پیشنهادی مقاله بر روی این نوع نویز پیاده‌سازی شده است [۶].

۱.۲ تشخیص فازی نویز ضربه

برای تشخیص نویز ضربه در یک تصویر باید نوعی عمل طبقه بندی انجام شود که در آن پیکسل‌های تصویر به دو کلاس پیکسل‌های نویزی و پیکسل‌های بدون نویز تفکیک می‌شوند. به عبارت دیگر یک روش ایده‌آل در تشخیص نویز باید قادر به تولید یک نقشه باینری هم سائز تصویر اصلی باشد که نشان می‌دهد کدام پیکسل‌ها نویزی و کدام بدون نویز هستند. اما با توجه به تغییرهای زیاد مقادیر سطوح خاکستری در یک تصویر نویزی این کار عملی نیست و ممکن است برخی از پیکسل‌های نویزی، سالم تشخیص داده شوند و برعکس. مناسب‌ترین راه برای تشخیص

را بدون پردازش رها کنند و یا با فیلتر کردن پیکسل‌های سالم موجب تحریف تصویر شوند [۶].

منطق فازی به علت توانایی مقابله با ابهام و عدم قطعیت و غیرخطی بودن به طور فزاینده‌ای به عنوان یک ابزار بالقوه در روش‌های بهبود و حذف نویز تصاویر دیجیتال استفاده شده است [۷].

فیلترهای فازی حذف نویز به دو دسته فیلترهای فازی سنتی^۳ و فیلترهای تمام فازی^۴ تقسیم می‌شوند. فیلترهای دسته اول فیلترهایی هستند که در واقع توسعه یا بهبودی از فیلترهای سنتی با استفاده از منطق فازی می‌باشند. از میان این فیلترها می‌توان به فیلتر میانه فازی^۵، فیلتر میانگین وزن دار فازی^۶ و فیلتر میانگین وزن دار تطبیقی فازی^۷ اشاره کرد [۸]. فیلترهای دسته دوم آن دسته از فیلترهای حذف نویز هستند که تنها بر اساس مفهوم منطق فازی کار می‌کنند. این فیلترها شامل دو مرحله تشخیص و حذف نویز هستند [۱۲]. در مرحله اول، سیستم فازی یک درجه عضویت به هر پیکسل اختصاص می‌دهد. درجه عضویت هر پیکسل یک عدد حقیقی در بازه [۰ ۱] است، که احتمال نویزی بودن پیکسل را نشان می‌دهد. و در مرحله دوم، سیستم فازی دیگری با وزن دهی به مقدار پیکسل‌های همسایه عمل ترمیم پیکسل نویزی را انجام می‌دهد.

هنگام استفاده از منطق فازی در کاربردهای عملی اولین سؤالی که مطرح می‌شود این است که چگونه بر اساس قواعد فازی باید تصمیم‌گیری کرد و پارامترهای توابع عضویت مورد استفاده در سیستم استنتاج فازی چگونه باید انتخاب شوند. معمولاً انسان قواعد را به صورت شهودی و پارامترها را به صورت تجربی تعیین می‌کند. در فیلترهای فازی یاد شده، تعیین شکل توابع عضویت و پارامترها و قوانین سیستم فازی با توجه به دانش مسئله و به صورت تجربی انجام شده است [۱۵].

الگوریتم‌های تکاملی که جزئی از روش‌های محاسبات نرم هستند ابزاری قدرتمند برای تعیین پارامترهای سیستم فازی به جای به‌کارگیری دانش و تجربه انسانی هستند. با استفاده از این الگوریتم‌ها فرایند تعیین پارامترها به صورت خودکار و با کم‌ترین دخالت انسان انجام می‌شود [۸].

در این مقاله از منطق فازی و الگوریتم ژنتیک در یک سیستم

^۳ Fuzzy Classical

^۴ Full Fuzzy

^۵ Fuzzy Median Filter (FMF)

^۶ Fuzzy Weighted Mean (FWM)

^۷ Adaptive Weighted Fuzzy Mean (AWFM)

P_{01}	P_{02}	P_{03}	P_{04}	P_{05}
P_{06}	P_{07}	P_{08}	P_{09}	P_{10}
P_{11}	P_{12}	P_{00}	P_{13}	P_{14}
P_{15}	P_{16}	P_{17}	P_{18}	P_{19}
P_{20}	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}

P_{01}	P_{02}	P_{03}	P_{04}	P_{05}
P_{06}	P_{07}	P_{08}	P_{09}	P_{10}
P_{11}	P_{12}	P_{00}	P_{13}	P_{14}
P_{15}	P_{16}	P_{17}	P_{18}	P_{19}
P_{20}	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}

شکل (۲): نواحی ۳×۳ اطراف پیکسل P_{00}

۳. استراتژی جایگزینی پیکسل نویزی

به منظور جایگزینی پیکسل نویزی، میانه هر کدام از ناحیه‌ها با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \text{median_of}(P_k | k = 0,1,2,3,6,7,8,11,12) \\
 M_2 &= \text{median_of}(P_k | k = 0,2,3,4,7,8,9,12,13) \\
 M_3 &= \text{median_of}(P_k | k = 0,3,4,5,8,9,10,13,14) \\
 M_4 &= \text{median_of}(P_k | k = 0,6,7,8,11,12,15,16,17) \\
 M_5 &= \text{median_of}(P_k | k = 0,8,9,10,13,14,17,18,19) \\
 M_6 &= \text{median_of}(P_k | k = 0,11,12,15,16,17,20,21,22) \\
 M_7 &= \text{median_of}(P_k | k = 0,12,13,16,17,18,21,22,23) \\
 M_8 &= \text{median_of}(P_k | k = 0,13,14,17,18,19,22,23,24)
 \end{aligned} \quad (2)$$

پیکسل مرکزی به همراه ۸ مقدار میانه محاسبه شده به یک پنجره ۳×۳ فرضی مطابق رابطه (۳) منتقل می‌شود.

$$\begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 \\ M_4 & P_{00} & M_5 \\ M_6 & M_7 & M_8 \end{bmatrix} \quad (3)$$

اکنون می‌توان فرض کرد که پیکسل P_{00} در یک محیط مجازی بدون نویز قرار دارد و برای تعیین نویزی بودن پیکسل P_{00} ، اختلاف شدت آن از ۸ همسایه با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$D_j = \text{abs}(M_j - P_{00}) \quad j = 1, \dots, 8 \quad (4)$$

مقدار متغیر D_j در بازه $[0-255]$ تغییر می‌کند. اگر این مقدار بالا باشد، پیکسل نویز است و در غیر این صورت پیکسل نویز نیست. برای ارزیابی بالا یا پایین بودن این مقدار دو مجموعه فازی LD=Lowe Difference و HD=High Difference با توابع

نویز تصمیم‌گیری نرم برای تفکیک پیکسل‌های سالم و نویزی است [۶].

با تعیین درجه‌ی نویزی بودن هر کدام از پیکسل‌های تصویر که عددی بین صفر و یک است می‌توان نشان داد که هر پیکسل تا چه اندازه تخریب شده است و عمل بهبود پیکسل نویزی را با توجه به درجه‌ی نویزی بودن انجام داد.

منطق فازی یک ابزار قدرتمند است که توانایی خوبی در برخورد با داده‌های مبهم و دارای تنوع زیاد دارد. و در مواردی مناسب است که بتوان دانش بشری را کد کرد. در ادامه مقاله از یک پایگاه دانش فازی برای تصمیم‌گیری نرم در مورد نویزی بودن پیکسل‌ها در تصویر استفاده می‌شود. این تصمیم‌گیری نرم با دادن یک درجه به هر پیکسل صورت می‌گیرد. مشکلی که معمولاً در پیدا کردن یک پیکسل نویزی با توجه به همسایه‌های آن اتفاق می‌افتد این است که پیکسل مرکزی می‌تواند با پیکسل‌هایی که خودشان هم خراب هستند همسایه باشد و این منجر به تصمیم نادرست در مورد تشخیص نویزی یا سالم بودن پیکسل مرکزی شود.

برای غلبه بر این مشکل یک روش جدید معرفی می‌شود که قبل از تصمیم‌گیری، پیکسل به یک محیط مجازی بدون نویز نگاشت می‌شود. در این روش پنجره ۵×۵ شکل (۱) به ۸ زیر ناحیه ۳×۳ که هر کدام حاوی ۹ پیکسل است تقسیم می‌شود شکل (۲). علت استفاده از ۸ ناحیه این است که همه همسایگی‌های اطراف پیکسل مرکزی در نظر گرفته شود و پس از بررسی وجود یا عدم وجود نویز استراتژی جایگزینی پیکسل نویزی بر روی پنجره اجرا می‌گردد.

P_{01}	P_{02}	P_{03}	P_{04}	P_{05}
P_{06}	P_{07}	P_{08}	P_{09}	P_{10}
P_{11}	P_{12}	P_{00}	P_{13}	P_{14}
P_{15}	P_{16}	P_{17}	P_{18}	P_{19}
P_{20}	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}

شکل (۱): پنجره ۵×۵ همسایگی پیکسل P_{00}

تکین^۸ و فازی‌زدای میانگین مرکز^۹ است خروجی سیستم فازی درجه نویزی بودن پیکسل است. با استفاده از درجه نویزی به دست آمده، مقدار جدید پیکسل آسیب دیده با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود،

$$P_{00}(New) = N_d \times R_{value} + (1 - N_d) \times P_{00} \quad (۶)$$

$$R_{value} = \text{median}(M_j | j = 1, \dots, 8)$$

N_d درجه نویزی بودن پیکسل مرکزی است.

وقتی درجه نویزی بودن بالا است کسر بیش‌تری از مقدار بازسازی و بخش کم‌تری از مقدار واقعی پیکسل برای تعیین مقدار نهایی پیکسل استفاده می‌شود.

۴. یادگیری تکاملی برای تعیین قوانین و پارامترهای توابع عضویت سیستم فازی

در بخش قبلی یک سیستم فازی ممدانی برای تشخیص و جایگزینی مقدار پیکسل نویزی ارائه شد. انتخاب توابع عضویت، پارامترها و قوانین مناسب برای یک سیستم فازی به صورت تجربی و ذهنی کاری وقت‌گیر است. ساختار if-then قوانین فازی به آسانی قابل درک و با دانش پیشینی قابل ساخت است. اما پارامترهای بسیاری دارد که باید توسط شخص خبره مشخص شود. پارامترهای قابل تنظیم یک سیستم فازی معمولاً توابع عضویت و قوانین فازی هستند [۱۰].

با توجه به انتخاب دو تابع عضویت برای سیستم فازی، پایگاه دانش فازی شامل $2^{16} = 65536$ قانون ممکن خواهد بود. یک روش برای پیدا کردن بهترین قوانین سیستم فازی جستجو و امتحان کردن همه قوانین ممکن برای پیدا کردن قوانین بهینه با استفاده از معیارهای ارزیابی است. این روش هزینه محاسباتی بالایی دارد [۱۱]. برخی روش‌های دیگر نیازمند دانش خبره هستند و برخی روش‌های مبتنی بر سیستم‌های عصبی-فازی به صورت خودکار قواعد مناسب را طراحی می‌کنند [۱۲]. اما این روش‌ها نیز برای تعیین پارامترهای سیستم نیاز به زمان برای آموزش سیستم دارند. یک روش کارآمد، یادگیری بهترین قوانین با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی است. در این مقاله از الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم تکاملی برای تنظیم مقدار بهینه پارامترهای توابع عضویت و قوانین سیستم فازی استفاده می‌شود.

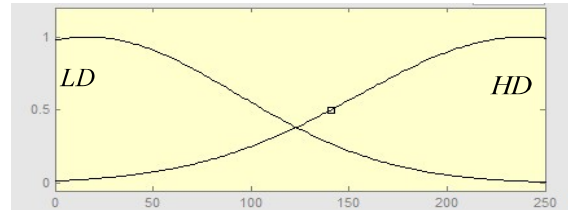
^۸ Singleton

^۹ centre average

عضویت گوسی زیر با پارامترهای λ_1 و λ_2 تعریف می‌شود.

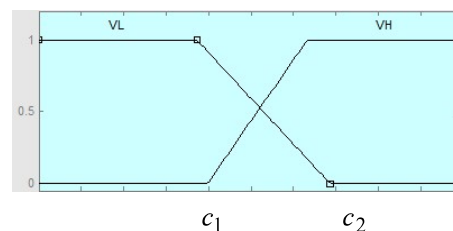
$$\mu_{LD}(D_j) = e^{-\lambda_1 D_j^2} \quad (۵)$$

$$\mu_{HD}(D_j) = 1 - e^{-\lambda_2 D_j^2}$$



شکل (۳): تابع عضویت گوسی با پارامترهای (λ_1, λ_2)

خروجی موتور استنتاج فازی میزان نویزی بودن پیکسل است که عددی در بازه $[0-1]$ است. شکل (۴) توابع عضویت دوزنقه‌ای برای پارامتر نویزی بودن را نشان می‌دهد. $B^2 = VH$ و $B^1 = VL$ با پارامترهای مرکز $y^1 = 0$ و $y^2 = 1$ و پارامترهای $c_1 = 10$ و $c_2 = 40$ توابع عضویت خروجی هستند.



شکل (۴): توابع عضویت دوزنقه‌ای پارامتر خروجی

برای کم کردن تعداد قوانین پایگاه دانش سیستم فازی، از بین ۸ اختلاف شدت محاسبه شده ۴ مقدار D_1, D_2, D_4, D_5 که همسایگی‌های صلیبی شکل پیکسل مرکزی در ماتریس رابطه (۳) هستند انتخاب می‌شوند. با این کار تعداد قوانین سیستم فازی از $2^8 = 256$ به $2^4 = 16$ و بار محاسباتی روشمان نیز کاهش می‌یابد. قوانین سیستم فازی به فرم زیرند:

If $(D_2 \text{ is } A_1^l)$ and $(D_4 \text{ is } A_2^l)$ and $(D_5 \text{ is } A_3^l)$ and $(D_7 \text{ is } A_4^l)$ then (noisiness is B^l)

که $A_4^l = HD, A_3^l = HD, A_2^l = HD, A_1^l = HD$ و قسمت نتیجه $B^l = VH$ است هر قاعده طراحی شده، برای یک الگو از اختلاف شدت بین پیکسل مرکزی P_{00} و پیکسل‌های $M_1 - M_8$ واقع در آن همسایگی است.

موتور استنتاج این سیستم فازی از نوع ممدانی با فازی‌گر

الگوریتم ژنتیک با ایجاد یک مجموعه جواب ابتدایی یا به عبارتی یک جمعیت اولیه تصادفی کار خود را آغاز می‌کند. در این الگوریتم پاسخ‌های ممکن به گونه‌ای کدگذاری می‌شوند که در اجرای الگوریتم بتوان این پاسخ‌ها را توسط تابع برازندگی^{۱۰} ارزیابی کرد. سپس بر روی آن‌ها عملگرهای مختلف ژنتیکی را به کار برد.

هر پاسخ از مسئله، توسط یک عضو از جمعیت به نمایش گذاشته می‌شود که به هر یک از اعضای جمعیت کروموزوم^{۱۱} گفته می‌شود. هر کروموزوم شامل رشته‌ای از اعداد است که ژن^{۱۲} نامیده می‌شوند. به جمعیت یک زمان معلوم از اجرای الگوریتم نسل^{۱۳} اطلاق می‌گردد. در هر تکرار از الگوریتم ژنتیک یک نسل جدید تولید می‌شود. در هر نسل برازندگی هر یک از کروموزوم‌ها با توجه به تابع برازندگی محاسبه می‌شود. در حین فرایند باز تولید، عملگرهای ژنتیک مانند عملگر تقاطع^{۱۴} و عملگر جهش^{۱۵} بر روی کروموزوم‌ها اعمال می‌شوند و به این ترتیب کروموزوم‌های نسل جدید تولید می‌شوند که به آنها نوزاد^{۱۶} گفته می‌شود. برازندگی هر یک از نوزادان محاسبه می‌گردد و توسط یکی از روش‌های انتخاب، کروموزوم‌های بهتر انتخاب و به نسل بعد منتقل می‌شوند [۹]. اجرای الگوریتم ژنتیک این‌گونه دنبال می‌شود که کروموزوم‌های موجود در هر نسل توسط عملگرهای ژنتیک سعی می‌کنند فضای جستجو و مقدار برازندگی خود را افزایش دهند تا به این ترتیب بهترین راه‌حل‌ها پیدا شوند.

۵. پیاده‌سازی روش پیشنهادی

جمعیت اولیه از تعدادی کروموزوم با ژن‌هایی که به صورت تصادفی تولید می‌شوند تشکیل می‌شود. پارامترهای سیستم فازی به عنوان کروموزوم در نظر گرفته می‌شوند و کروموزوم‌ها به صورت بهینه تکامل پیدا می‌کنند. اگر توابع عضویت با یک عدد بیان شود هر کدام از قوانین سیستم فازی به صورت یک عدد ۵ رقمی نمایش داده می‌شود. برای تولید یک ژن به صورت تصادفی کافی است یک عدد پنج رقمی به صورت تصادفی تولید شود. تولید این اعداد هم با توجه به تعریف صورت گرفته، محدودیت

^{۱۰} Fitness Function

^{۱۱} Chromosome

^{۱۲} Gene

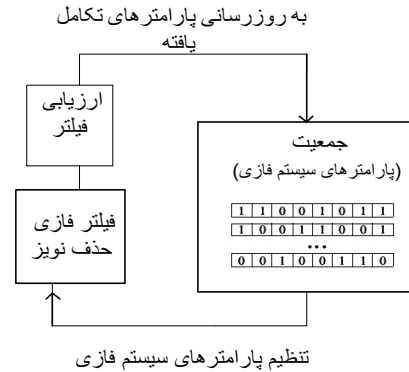
^{۱۳} Generation

^{۱۴} Cross Over

^{۱۵} Mutation

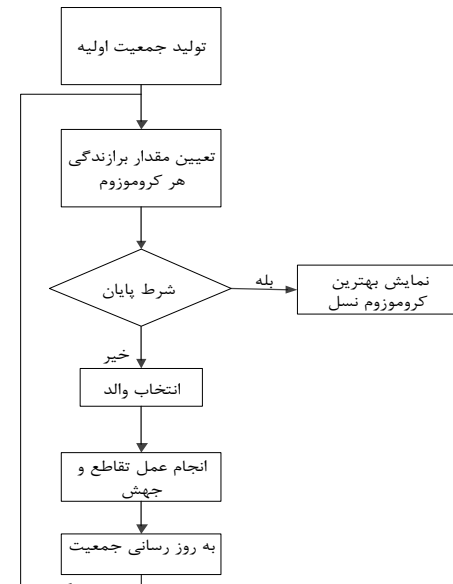
^{۱۶} Offspring

شکل (۵) روند کلی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. در این روش پارامترهای توابع عضویت ورودی و قوانین سیستم فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تکامل پیدا می‌کنند تا بهترین پارامترها با استفاده از معیار میانگین مربع خطا تعیین شوند.



شکل (۵): روند کلی تنظیم پارامترها با الگوریتم ژنتیک

برای تنظیم توابع عضویت با الگوریتم ژنتیک پارامترهای توابع عضویت و قوانین سیستم فازی به عنوان کروموزوم‌ها کدگذاری شده و پارامترهای مناسب توابع عضویت توسط الگوریتم ژنتیک جستجو می‌شود. الگوریتم ژنتیک روشی برای یافتن پاسخ برای مسائل بهینه‌سازی به شمار می‌رود [۹]. ساختار کلی این الگوریتم برای همه مسائلی یکسان است و به صورت شکل (۶) است.



شکل (۶): روند نمای الگوریتم ژنتیک

تنظیم صحیح این الگوریتم برای هر مسئله خود بخشی از حل مسئله می‌باشد. تنظیم نادرست این الگوریتم موجب از بین رفتن همگرایی به جواب بهینه یا تولید جواب بهینه محلی می‌شود.

یا سائز جمعیت است. تابع برازندگی برای هر عضو جمعیت، معیار ارزیابی کارایی سیستم حذف نویز تعریف می‌شود. معیار تکامل کروموزوم‌ها در یک سیستم حذف نویز یک معیار ارزیابی عینی مانند میانگین مربع خطا است که با توجه به تصویر بهبود داده شده و نسبت به تصویر نویزی از رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$MSE = \frac{\sum_{i,j=1}^N (E(i,j) - O(i,j))^2}{N^2} \quad (7)$$

هرچه میانگین مربع خطا کمتر باشد به منزله بهبود تصویر و کاهش نویز تصویر است. $E(i,j)$ و $O(i,j)$ به ترتیب تصویر بهبود داده شده و تصویر اصلی هستند. برای محاسبه این معیار از تصویر Cameraman با سائز 256×256 و آلوده شده با نویز ۳۰ درصد استفاده نمودیم.

برای تولید جمعیت در نسل بعدی $p(t+1)$ ، الگوریتم فازی ژنتیک پیشنهادی از سه عملگر انتخاب، تقاطع و جهش استفاده می‌کند. در روش پیشنهادی برای عملگر انتخاب از چرخه رولت استفاده می‌شود که یکی از روش‌های نمونه‌برداری در حوزه‌ی محاسبات تکاملی است [۳]. در این روش هر کروموزوم معادل با یک قطاع از چرخه رولت است. اندازه‌ی این قطاع متناسب با مقدار برازندگی نرمالیزه کروموزوم است. برای انتخاب یک کروموزوم یک عدد بین صفر و یک با توزیع یکنواخت تولید می‌شود. در هر ناحیه که آن عدد قرار گیرد کروموزوم آن ناحیه انتخاب می‌شود. زیرا که سهم هر ناحیه متناسب با مقدار برازندگی نرمالیزه‌ی آن است.

در این مقاله برای عملگر تقاطع از عملگر تقاطع یکنواخت استفاده شده است. برای شرح این عملگر، دو والد به صورت رابطه‌ی (۸) در نظر گرفته می‌شود:

$$x_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}) \quad (8)$$

$$x_2 = (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n})$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (9)$$

$$y_1 = (y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1n}) \quad y_1 = \alpha x_1 + (1 - \alpha) x_2$$

$$y_2 = (y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2n}) \quad y_2 = \alpha x_2 + (1 - \alpha) x_1 \quad (10)$$

با استفاده از ماسک رابطه‌ی (۹) دو فرزند حاصل از عملگر تقاطع طبق رابطه‌ی (۱۰) تولید می‌شوند.

جدول (۲): پارامترهای الگوریتم ژنتیک

پارامتر	مقدار
Population size	۳۰

دارد و برای ورودی‌ها و خروجی تنها اعداد ۱ و ۲ در نظر گرفته شده است. جدول (۱) قواعد سیستم فازی با توجه به ورودی‌ها و خروجی تعریف شده برای سیستم را نشان می‌دهد.

جدول (۱): پایگاه قوانین سیستم فازی

	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	Noise ness	Rule number
1	Low	Low	Low	Low	VL	11111
2	Low	Low	Low	High	VL	11121
3	Low	Low	High	Low	VL	11211
4	Low	Low	High	High	VH	11222
5	Low	High	Low	Low	VL	12111
6	Low	High	Low	High	VH	12122
7	Low	High	High	Low	VH	12212
8	Low	High	High	High	VH	12222
9	High	Low	Low	Low	VL	21111
10	High	Low	Low	High	VL	21121
11	High	Low	High	Low	VL	21211
12	High	Low	High	High	VH	21222
13	High	High	Low	Low	VL	22111
14	High	High	Low	High	VH	22122
15	High	High	High	Low	VH	22212
16	High	High	High	High	VH	22222

اگر ژن‌ها به صورت تکراری تولید شوند به این معنی است که در پایگاه قواعد، قوانین تکراری می‌تواند وجود داشته باشد.

بعضی از ژن‌ها دارای قسمت "اگر" یکسان و "آنگاه" متفاوت هستند که در این صورت در خروجی ترکیب or فازی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. از کنار هم قرار دادن تعدادی از این کروموزوم‌های تصادفی می‌توان جمعیت اولیه را تشکیل داد.

هدف، رسیدن به یک جدول قواعد بهینه است. بنابراین با دید الگوریتم ژنتیک یک پایگاه قواعد بهینه جستجو می‌شود، بنابراین هر پایگاه قواعدی را می‌توان یک کروموزوم در نظر گرفت. کوچک‌ترین عضو پایگاه قواعد یک قاعده است که تابع عضویت خروجی سیستم فازی حذف نویز (یعنی درجه نویزی بودن پیکسل) را به ازای ۴ مقدار ورودی که D_1, D_2, D_3, D_4 هستند بیان می‌کند.

بسته به این که متغیر خروجی یعنی میزان نویزی بودن متعلق به مجموعه فازی VL یا مجموعه فازی VH باشد. یک عضو از جمعیت یعنی x_k می‌تواند به عنوان یک رشته از $R=16$ توالی ممکن باشد.

$$x_k = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{R-1}, a_R\};$$

$$\text{where } a_j \in \{0,1\} \text{ for } j = 1, \dots, R$$

جمعیت تولید شده در زمان t برابر است با $p(t) = \{x_k; k = 1, 2, \dots, N\}$ که $N=100$ تعداد عناصر جمعیت

شکل (۸) که با نویز ۰.۳٪ آلوده شده، مقادیر بهینه میانگین مربع خطا و شماره تکرار الگوریتم مطابق جدول (۳) بدست آمده است.



شکل (۸): تصاویر آزمایشی استفاده شده

۶. نتایج آزمایش‌ها و تحلیل آن‌ها

فیلتر پیشنهادی پیاده‌سازی شد و بر روی تصاویر آزمایشی شکل (۸)، که همه تصاویر ۸ بیتی با سطوح خاکستری به ابعاد ۲۵۶×۲۵۶ و با چگالی نویز متفاوت اجرا شد. دو معیار میانگین مربع خطا^{۱۷} و حداکثر نسبت سیگنال به نویز^{۱۸} رابطه (۱۲، ۱۱) برای مقایسه کارایی بکار گرفته شدند.

$$MSE = \frac{1}{RC} \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (E[r, c] - O[r, c])^2 \quad (11)$$

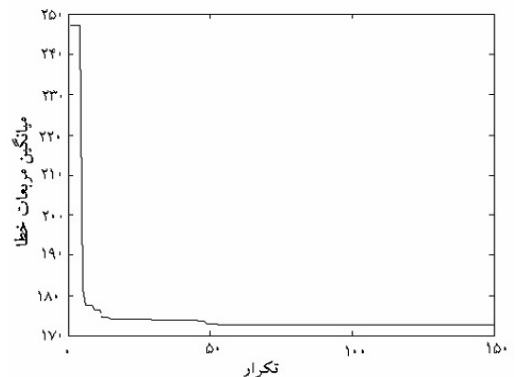
$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\max_i^2}{MSE} \right) \quad (12)$$

R و C ابعاد تصویر و \max_i بیشترین مقدار پیکسل در تصویر است. نتایج حاصل از اجرای این روش در تکرار ۷۰ ام بر روی تصویر Cameraman با چگالی نویز متفاوت در شکل (۹) نشان داده شده است.

Crossover probability	۰/۶
Mutation probability	۰/۱
Selection method	Roulette Wheel
Crossover method	Uniform Crossover
Maximum generation	۱۵۰

برای بهبود عملکرد فیلتر پیشنهادی، پارامتر λ به منظور تنظیم کردن مقدار پارامتر تابع عضویت گاوسی مورد استفاده در فرایند استنتاج فازی در کروموزوم الگوریتم ژنتیک گنجانده شده است. برای عملگر جهش، مقدار λ در بازه ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۷ در نظر گرفته شده است. محدوده در نظر گرفته شده به صورت تجربی انتخاب شد. متغیرهای اولیه به صورت تصادفی تعیین شده‌اند. تعداد تکرار الگوریتم برای رسیدن به پاسخ بهینه با توجه به تصاویر مختلف متفاوت است حداکثر این مقدار ۱۵۰ در نظر گرفته شده است.

الگوریتم پیشنهادی با پارامترهای مطرح شده در جدول (۲) بر روی تصویر Cameraman با سایز ۲۵۶×۲۵۶ آلوده شده با نویز ضربه با چگالی ۰.۳٪ اجرا شد. بهترین قوانین فازی همراه با مقدار پارامتر $\lambda = ۰/۰۰۳۶$ در تکرار ۷۰ ام الگوریتم تعیین شد. مینیمم مقدار میانگین مربع خطای بدست آمده برای تصویر Cameraman مطابق شکل (۷) مقدار ۱۷۲/۸۵ است و بعد از تکرار ۵۵ میانگین مربعات خطا بدون تغییر باقی ماند.



شکل (۷): منحنی تغییرات میانگین مربعات خطا در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک بر روی تصویر Cameraman با نویز ۰.۳ درصد

با اجرای مجدد الگوریتم بر روی چندین تصویر آزمایشی

جدول (۳): میانگین مربع خطای روش پیشنهادی در تصاویر آزمایشی

تصویر	تکرار	میانگین مربع خطا
Boats	۴۴	۱۶۹/۰۸
Peppers	۵۰	۱۷۵/۴۵
House	۵۰	۱۶۸/۳۴

^{۱۷} Mean Square Error(MSE)

^{۱۸} Peak Signal to Noise Ratio(PSNR)



(ب)



(الف)



(د)



(ج)



(و)



(ه)

روش‌ها برای تصاویر آزمایشی با چگالی نویز متفاوت در جدول (۶) نمایش داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود روش پیشنهادی نسبت به روش‌های پیشین دارای خطای کمتری است. شکل (۱۲) نتایج اجرای روش پیشنهادی در مقایسه با دو روش پیشین بر روی تصاویر با چگالی نویز متفاوت را نشان می‌دهد. با توجه به کیفیت تصاویر مشاهده می‌شود روش پیشنهادی توانایی حذف نویز با چگالی بالا همراه با حفظ جزئیات را دارد.

	Cameraman	Boats	Peppers	House
PSNR	۲۶/۰۷	۲۵/۸۳	۲۴/۸۷	۲۴/۶۵
MSE	۱۶۰/۴۲	۱۶۸/۵۷	۱۷۳/۹۳	۱۷۲/۶۰

شکل (۹): (الف) تصویر نویزی با چگالی ۱۰٪، (ج) تصویر نویزی با چگالی ۲۰٪، (ه) تصویر نویزی با چگالی ۳۰٪، (ب)، (د)، (و) تصویر بازیابی شده روش پیشنهادی.

با توجه به تصاویر حاصل از روش پیشنهادی می‌بینیم این روش توانایی حذف نویز همراه با حفظ جزئیات تصویر را دارد. نتایج پیاده‌سازی فیلتر پیشنهادی بر روی تصاویر آزمایشی با

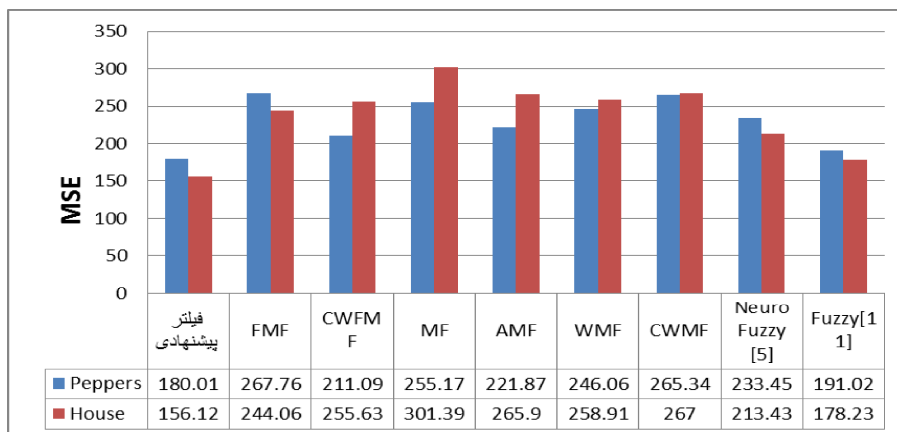
	Cameraman	Boats	Peppers	House
PSNR	۲۴/۵۵	۲۲/۸۹	۲۲/۴۵	۲۱/۶۷
MSE	۱۷۳/۶۱	۱۷۸/۰۲	۱۷۹/۱۱	۱۸۲/۶۳

چگالی نویز ۱۲٪ و ۲۵٪ در جدول (۴) و (۵) نمایش داده شده‌اند. جدول (۴): PSNR و MSE اجرای روش پیشنهادی بر روی تصاویر آزمایشی با چگالی نویز ۱۲٪

جدول (۵): PSNR و MSE اجرای روش پیشنهادی بر روی تصاویر آزمایشی با چگالی نویز ۲۵٪

کارایی فیلتر پیشنهادی با دو گروه فیلترهای عمومی و فیلترهای فازی موجود مقایسه گردید. از میان فیلترهای عمومی فیلتر پیشنهادی با فیلترهای میانه، میانه وزن‌دار، میانه وزن‌دار عنصر مرکزی، میانه تطبیقی و از میان فیلترهای فازی این روش با فیلترهای میانه فازی، میانه وزن‌دار فازی، فیلتر تمام فازی ارائه شده در مرجع [۱۱] و فیلتر فازی-عصبی ارائه شده در مرجع [۵] مقایسه شد.

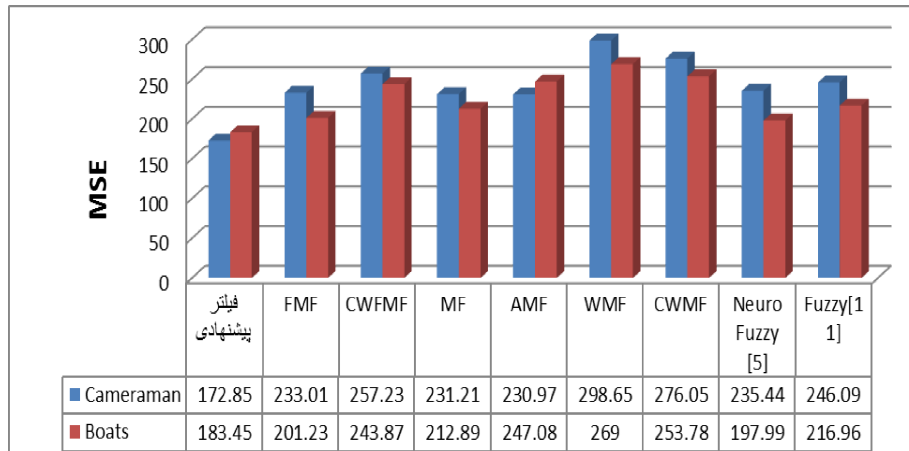
شکل (۱۰) و (۱۱) مقدار میانگین مربع خطا برای روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های فازی و غیر فازی موجود برای تصاویر آزمایشی با چگالی نویز ۱۵٪ را نشان می‌دهد. نتایج عددی حاصل از محاسبه نسبت نویز به سیگنال هرکدام از



جدول (۶) : مقدار PSNR روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های موجود

چگالی نویز	Cameraman			Boats			Peppers			House		
	%۱۰	%۱۵	%۲۵	%۱۰	%۱۵	%۲۵	%۱۰	%۱۵	%۲۵	%۱۰	%۱۵	%۲۵
MF	۲۵/۱۰	۲۱/۵۹	۲۰/۰۱	۲۳/۶۸	۲۳/۳۴	۱۹/۷۶	۲۲/۷۹	۲۱/۶۸	۲۲/۱۶	۲۳/۹۸	۱۸/۲۱	۱۵/۴۱
WMF	۲۴/۴۷	۲۱/۸۰	۲۰/۱۵	۲۴/۶۱	۲۱/۷۶	۱۸/۵۴	۲۱/۱۳	۲۱/۳۳	۲۳/۲۱	۲۱/۶۶	۲۰/۲۶	۲۰/۰۱
CWMF	۲۴/۱۸	۲۱/۵۵	۲۱/۳۴	۲۶/۵۸	۲۱/۱۶	۲۰/۳۲	۲۳/۱۸	۲۰/۳۱	۱۹/۳۴	۲۳/۰۵	۲۲/۴۵	۲۰/۲۳
AMF	۲۲/۹۹	۲۲/۲۱	۲۱/۱۱	۲۵/۷۳	۱۹/۱۵	۲۰/۰۱	۲۲/۵۵	۲۱/۵۰	۲۱	۲۲/۴۵	۲۰/۱۲	۱۶/۱۳
FMF	۲۳/۹۲	۲۱/۲۹	۲۱/۷۶	۲۹/۱۳	۲۰/۱۳	۲۱/۲۲	۲۳/۹۸	۲۰/۵۴	۱۹/۰۷	۲۱/۷۶	۲۱/۰۱	۱۸/۳۶
FCWMF	۲۳/۴۱	۲۳/۷۱	۲۲/۶۷	۲۱/۸۷	۲۰/۳۰	۱۸/۴۵	۲۲/۷۶	۲۱/۴۳	۱۸/۶۵	۲۰/۱۹	۱۹/۹۴	۲۰/۰۳
FUZZY[15]	۲۳/۹۷	۲۲/۰۶	۲۲/۹۶	۲۳/۱۲	۲۱/۰۷	۱۷/۵۴	۲۴/۸۷	۲۳/۱۲	۲۰/۰۲	۲۲/۱۳	۲۱/۴۳	۱۹/۰۸
Neuro-Fuzzy[5]	۲۳/۴۹	۲۱/۶۳	۲۲/۰۶	۲۱/۵۶	۲۱/۴۱	۱۹/۸۷	۲۳/۰۶	۲۳/۰۰	۲۰/۷۶	۲۱/۶۳	۲۰/۰۵	۲۰/۱۰
فیلتر پیشنهادی	۲۴/۸۶	۲۳/۹۱	۲۳/۵۵	۲۵/۸۳	۲۲/۸۹	۲۳/۷۹	۲۵/۰۸	۲۴/۰۵	۲۲/۰۹	۲۴/۵۶	۲۳/۶۵	۲۱/۶۷

شکل (۱۰) : MSE روش‌های مختلف برای تصویر Peppers و House



شکل (۱۱) : MSE روش‌های مختلف برای تصویر Boats و Cameraman



(الف) (ب) (ج) (د) (ه)

شکل (۱۲): نتایج بازیابی تصاویر آزمایشی، (الف) تصویر اصلی بدون نویز، (ب) تصویر آلوده شده با نویز نمک و فلفل و با چگالی نویز ۵۰٪، (ج) تصویر بازیابی شده با فیلتر فازی-عصبی مرجع [5]، (د) تصویر بازیابی با فیلتر فازی مرجع [11] (ه) تصویر بازیابی با فیلتر پیشنهادی.

۷. نتیجه گیری

مراجع

- [1] MD. Robiul Hoque, MD. Rashed-al-Mahfuz, "A New Approach in Spatial Filtering to Reduce Speckle Noise", *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)* ISSN: 2231-2307, Vol. 1, No.3, pp. 29-32, July 2011.
- [2] M. Nachtegaal, D. Vander Weken. E.E. Kerre, W. Philips: "Soft Computing in Image Processing", *Recent Advances of Studies In Fuzziness and Soft Computing*, vol. 210, Chapter 8, pp. 209-237, 2006.
- [3] Yuen, S. Y., & Ma, C. H., "Genetic algorithm with competitive image labelling and least square", *Pattern Recognition*, Vol. 33, No.1, pp. 1949-1966, 2000.
- [4] Russo F. "Impulse Noise cancellation in image data using a two-output nonlinear filter". *Measurement*, Vol.36, No.3, pp. 13- 20, 2004.

هدف این پژوهش ارائه یک روش نوین برای حذف نویز از تصاویر دیجیتال با استفاده از ترکیب سیستم فازی و الگوریتم ژنتیک بود. در این روش سلول تصویری به یک محیط بدون نویز منتقل شد و قوانین و پارامترهای بهینه برای سیستم فازی حذف نویز مورد نظر با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین شد. فیلتر پیشنهادی پیاده‌سازی گردید و بر روی تصاویر استاندارد مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج عددی و بصری حاصل از پیاده‌سازی فیلتر پیشنهادی که مبتنی بر بهره گرفتن از ترکیب سیستم فازی و الگوریتم ژنتیک است، نشان می‌دهند که بکارگیری ایده مورد نظر منجر به حذف هر چه بیشتر نویز با حفظ جزئیات تصاویر می‌گردد.

- [5] Yüksel ME, Beşdok E. "A Simple Neuro-Fuzzy Impulse Detector for Efficient Blur Reduction of Impulse Noise Removal Operators for Digital Images". *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*; Vol. 12, No.6, pp. 854–65, 2004.
- [6] Mahesh T R et al., "Noise Reduction by Using Fuzzy Image Filtering", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*", Islamabad Pakistan, vol.15, No.2, pp. 115-120, 2010
- [7] Yüksel ME. "Impulsive noise Rejection from Images with Jarque–Berra test based median filter". *International Journal of Electronic and Communications*, Vol. 59, No.2, pp. 91-105, 2005.
- [8] M.Tulin Yildirim, Alper Basturk, Emin Yuksel, "Impulse Noise Removal from Digital Images by a Detail preserving Filter based on Type-2 Fuzzy Logic", *published in IEEE Transactions on Fuzzy systems*, Vol.16, No. 4, pp. 920-928, August 2008.
- [9] Brindle, A., "Genetic algorithms for function optimization", Doctoral Dissertation, University of Alberta, Edmonton, 1981.
- [10] Chen T, Wu HR." Space variant median filters for the Restoration of impulse noise corrupted images". *IEEE Transactions of Circuits and Systems-II*; Vol.48, No.8:784–9, 2001.
- [11] Alajlan N, Kamela M, Jemigan E. "Detail preserving impulsive noise removal. Signal Processing": *Image Communication*; Vol. 19 pp.993–100, 2004.
- [12] Alsadri Mc-Andrew, "An Introduction to Digital Image Processing with Matlab", Victoria University of Technology, 2004.
- [13] Yli-Harja O, Astola J., Neuvo Y. , "Analysis of the Properties of Median and Weighted Median Filters using Threshold logic and Stack Filter Representation". *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 39, No. 2, pp.395-410, 1987.
- [14] Ko SJ, Lee YH. "Center Weighted Median Filters and their Applications to Image Enhancement". *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, Vol. 38, No. 9, pp.984–93, 1991.
- [15] Navjeet Kaur, Shveta Chadda, Rajni Thakur, "A Survey of Image De-noising Filters", *International Journal of Computer Science And Technology*, Vol. 3, No.1, pp.505-507, 2012.
- [16] Cordon O, Herrera F, Hoffmann. F and Magdalena, L , "Genetic Fuzzy Systems - Evolutionary Tuning and Learning of Fuzzy Knowledge Bases", *Advances in Fuzzy Systems Applications and Theory, Vol. 19, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.* 2001.
- [17] Madhu S. Nair and G. Raju "A New Fuzzy-based Decision Algorithm for High-density Impulse Noise Removal" , *Springer-Verlag, London Limited. Signal Image and Video processing*. DOI 10.1007/s11760-010-0186-4, 2010.