

ترکیب تصاویر با کمک ترکیب فازی، موجک و آنتروپی تصویر

سعید امیری^۱، احمد مصلی نژاد^۲، احسان امیری^۱

^۱ گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سنندج، ایران.
^۲ گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سپیدان، سپیدان، ایران.

نام نویسنده مسئول:

سعید امیری

چکیده

الگوریتم ترکیب بر پایه‌ی تشخیص تمرکز می‌تواند سطح کیفی تصویر ترکیبی را افزایش دهد. در روش معرفی شده ابتدا، منبع تصویر به سه بخش تقسیم می‌شود. سپس یک قانون جدید تشخیص تمرکز مبتنی بر موجک و آنتروپی فرمول‌بندی می‌شود. در نهایت پیکسل‌های نواحی هموار، متناسب با طبقه‌بندی فازی صورت گرفته بر روی آن، ترکیب می‌شوند. با توجه به آنکه خروجی موجک سیگنال می‌باشد، معکوس جریان تبدیل موجک جهت بدست آوردن تصویر نهایی اعمال می‌شود. خاصیت این الگوریتم، بهبود دقت تشخیص تمرکز به اندازه ۰.۱۲ نسبت به مدل موجک و حذف اثرات بلوکی در تصاویر ترکیب شده می‌باشد. نتایج آزمایش‌ها نشان داده‌اند که الگوریتم ترکیب ارائه شده، در مقایسه با الگوریتم موجک در حالت ماکزیمم و میانگین و منطق فازی با توجه به معیارهای PSNR و MAE امتیاز بهتری کسب می‌کند.

واژگان کلیدی: ترکیب تصویر، فوکوس، موجک، آنتروپی.

مقدمه

پردازش تصاویر امروزه بیشتر به موضوع پردازش تصاویر دیجیتال گفته می‌شود، که شاخ‌های از دانش رایانه است که با پردازش سیگنال دیجیتال که نماینده تصاویر برداشته شده با دوربین دیجیتال یا پویش شده توسط پویشگر هستند سر و کار دارد. پردازش تصاویر دارای دو شاخه عمده‌ی بهبود تصاویر و بینایی ماشین است. بهبود تصاویر دربرگیرنده‌ی روش‌هایی چون استفاده از فیلتر محوکننده و افزایش تضاد برای بهتر کردن کیفیت دیداری تصاویر و اطمینان از نمایش درست آنها در محیط مقصد (مانند چاپگر یا نمایشگر رایانه) است، در حالی که بینایی ماشین به روش‌هایی می‌پردازد که به کمک آنها می‌توان معنی و محتوای تصاویر را درک کرد تا از آنها در کارهایی چون رباتیک و محور تصاویر استفاده شود [۱].

در معنای خاص پردازش تصویر عبارتست از هر نوع پردازش سیگنال که ورودی یک تصویر است مثل عکس یا صحنه‌ای از یک فیلم. خروجی پردازشگر تصویر می‌تواند یک تصویر یا یک مجموعه از نشان‌های ویژه یا متغیرهای مربوط به تصویر باشد. اغلب تکنیک‌های پردازش تصویر شامل برخورد با تصویر به عنوان یک سیگنال دو بعدی و بکار بستن تکنیک‌های استاندارد پردازش سیگنال روی آنها می‌شود [۲].

پردازش تصویر به عنوان زیربخش یا زمینه‌ای از پردازش سیگنال دیجیتال، مزیت‌های فراوانی نسبت به پردازش تصویر آنالوگ دارد. پردازش تصویر دیجیتال امکان اعمال گستره وسیع‌تری از الگوریتم‌ها را روی داده‌های ورودی فراهم می‌کند و می‌تواند از مسائلی مثل تجمع نویز و اختلال سیگنال طی فرایند پردازش اجتناب کند. از آنجا که تصاویر روی دو بعد تعریف می‌شوند، پردازش تصویر را می‌توان به شکل سیستم‌های چندبعدی مدل‌سازی کرد [۱].

سیگنال‌های دیجیتالی به سیگنال‌هایی گفته می‌شوند که به صورت دیجیتالی ذخیره یا به نمایش گذاشته می‌شوند. در این میان برای نمایش اطلاعاتی مانند صوت یا تصویر می‌توان آنها را به صورت امواج صوتی یا تصویری ارائه کرد. پردازش سیگنال دیجیتال یعنی بررسی دیجیتالی امواج با هدف تشخیص خصوصیات وجودی آنها. برای پردازش سیگنال الگوریتم‌های متفاوتی موجود است که ویژگی‌های مهم و خاص سیگنال‌ها را برجسته کرده و آنها را آشکار می‌سازد و بدینوسیله ویژگی‌های متمایزکننده یک سیگنال از سایر سیگنال‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد [۲].

تصویر سنسور تنها نمی‌تواند تمام اطلاعات مربوط به یک صحنه مورد نظر را ارائه دهد. گاهی اوقات ترجیح داده می‌شود که بیش از یک تصویر ضبط شود. برای درک بهتر بصری صحنه باید تمام اطلاعات لازم از این چندین عکس در یک تصویر واحد گنجانده شود. ترکیب تصویر پدیده ادغام کلیه اطلاعات لازم تصاویر منبع در یک تصویر واحد است. ترکیب تصویر کاربردهای بی‌شماری در زمینه‌های متنوع دارد. عکاسی دیجیتال، تصویربرداری پزشکی، سنجش از دور، کشف اسلحه پنهان، نظامی و ناوبری [۲۱].

ترکیب تصویر چند مرکزی روشی است که با آن تعدادی تصویر از یک صفحه که هر کدام بر اجسام مختلفی فوکوس هستند، به گونه‌ای ارتقاء پیدا می‌کنند که در تصویر نهایی همه اجسام فوکوس به نظر می‌آیند. دلیل اینکه چرا بایستی این تصاویر فوکوس شده بر اجسام مختلف با یکدیگر ترکیب شوند این است که، دوربین‌های عکس‌برداری موجود، معمولاً تنها دارای عمق میزان محدودی هستند، در نتیجه این عمل دستیابی به یک تصویر که در آن همه اجسام فوکوس هستند، را امکان پذیر می‌سازد. تاکنون، تکنولوژی ترکیب تصویر چند مرکزی ثابت کرده که در موارد نظارت تصویر برداری میکروسکوپی روش با ارزشی است [۳].

تصاویر انواع مختلف، مانند توموگرافی قابل مشاهده، مادون قرمز و MRI، تصاویر منبع خوبی برای ترکیب هستند. از میان ترکیب‌های این نوع، تصویر مادون قرمز و قابل مشاهده از بسیاری جنبه‌ها برتر است. سیگنال‌های آنها از رویه‌های مختلفی ناشی می‌شود، در نتیجه اطلاعات صحنه را از جنبه‌های مختلف ارائه می‌دهد. یعنی، تصاویر مرئی ضبط نور را منعکس می‌کنند، در حالی که تصاویر مادون قرمز تابش حرارتی را ضبط می‌کنند [۲۰].

الگوریتم‌های ترکیب را می‌توان با طرح‌های مختلف توسعه داد روش‌هایی مانند تبدیل چند مقیاس، نمایش پراکندگی، شبکه عصبی، مدل‌های ترکیبی و روش‌های دیگر. روش‌های مبتنی بر تبدیل چند مقیاس، در بیشتر موارد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این روش فرض می‌شود که تصاویر توسط لایه‌های مختلف نشان داده می‌شوند. این روش‌ها تصاویر منبع را به چندین سطح تجزیه می‌کنند و لایه‌های مربوطه را با قوانین خاص ترکیب می‌کنند و تصاویر مورد نظر را بر این اساس بازسازی می‌کنند [۲۰].

برای ادغام تصاویر با وضوح‌های متفاوت، روش‌های مختلفی وجود دارد که این روش‌ها را می‌توان به سه گروه اصلی دسته‌بندی کرد. \checkmark نخستین دسته، روش‌هایی هستند که بر پایه اطلاعات پیکسل‌ها می‌باشند و از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های بیشینه‌گیری [۵] و [۶]، میانگین‌گیری [۶ و ۷] و به‌کارگیری منطق فازی [۶] اشاره کرد. دو روش نخست از ابتدایی‌ترین روش‌های ترکیب تصاویر هستند که از ویژگی‌های آن‌ها می‌توان به سرعت بالا و سادگی الگوریتم اشاره کرد، اما این روش‌ها اصولاً دقت پایینی دارند. در روش فازی کارایی بالاست، اما به‌علت سرعت پایین نمی‌توان از آن در سامانه‌های بی‌درنگ استفاده کرد [۶].

✓ دسته دوم، روش‌های مبتنی بر توابع تبدیل می‌باشند که بیشتر برگرفته از تبدیل فوریه هستند، مانند ترکیب تصاویر با استفاده از تبدیل لاپلاس و تبدیل موجک. این روش‌ها دقت مناسبی دارند، برای انجام کارهای تلفیقی به کار گرفته می‌شوند و تبدیل موجک از پرکاربردترین آن‌ها محسوب می‌شود. تبدیل موجک گسسته می‌تواند اطلاعات جهت‌دار را که برای سیستم بصری انسان بسیار ضروری است، مورد توجه قرار دهد. به علاوه تصاویر ترکیب شده با موجک گسسته می‌توانند نسبت بالاتری از سیگنال را بدست آورند [۱۰].

✓ دسته سوم از روش‌ها نیز مبتنی بر استفاده از ترکیب اطلاعات بلوکی و روش‌های پردازش و بهینه‌یابی هوشمند هستند [۱۳]. در ترکیب تصاویر دیجیتال مفهومی به نام آنتروپی نیز تعریف می‌شود. این مفهوم بیانگر مقدار اطلاعات موجود در تصویر است. سائز عکس که در ذخیره‌سازی، پردازش، و ارسال آن نقش دارد، با آنتروپی رابطه‌ی مستقیم دارد. کاهش آنتروپی باعث کم شدن سائز تصویر می‌شود [۱۹].

برخلاف دیگر روش‌های ترکیب الگوریتم ترکیب چند مرکزی بایستی فوکوس را انتخاب کند و نواحی خارج از فوکوس را کاملاً نادیده می‌گیرد بنابراین مساله کلیدی در ترکیب تصویر چند مرکزی تشخیص صحیح منبع فوکوس در تصویر اصلی است [۶]. معمولاً نتایج تشخیص فوکوس که تاکنون ارائه شده‌اند همبستگی خوبی با درک بصری انسان داشته‌اند. برای نمونه فرض پایه‌ای ترکیب تصویر با کمک اکثر الگوریتم‌هایی که معرفی شد، صحیح است. هرچند اگر با هرکدام از این الگوریتم‌ها، تشخیص نواحی هموار در نزدیکی بعدها به کار گرفته شوند، معمولاً جواب‌های غیرصحیح می‌دهند. در این حالت برای نواحی هموار که در نزدیکی بعدها واقع شده‌اند اگر خارج از فوکوس هم باشند، معمولاً تحت تاثیر اطلاعات بعد هستند. در نتیجه این نواحی نسبت به نواحی که تحت تاثیر بعد نیستند، امتیاز بیشتری توسط الگوریتم ترکیب تصویر چند مرکزی داده می‌شود [۱۰].

این پدیده منجر می‌شود تا الگوریتم ترکیب تنها برپایه تشخیص فوکوس، تصمیم‌گیری غلطی برای انتخاب اطلاعات اتخاذ کند. نویسندگان دریافته‌اند که نواحی هموار در یک تصویر به همراه اثرات بعد تاثیر به سزایی بر درک تصویر دارند [۲].

به نظر می‌رسد که انتخاب این نواحی هموار، با کمک الگوریتم‌های معرفی شده قابل انجام و در نتیجه بهبود ترکیب تصاویر را شامل شود. بنابراین، یک تشخیص غلط در نواحی هموار می‌تواند درک تصویری، تصویر ترکیب شده را تحت تاثیر قرار دهد. به منظور حل این مشکل در این گزارش یک الگوریتم جهت ترکیب دو تصویر بر مبنای تشخیص فوکوس با کمک موجک، آنتروپی و منطبق فازی ارائه شده است.

۱- مروری بر یافته‌های پیشین

هوانگ و همکارانشان در سال ۲۰۰۷ بر روی تشخیص فوکوس تصاویر کار کرده‌اند. ایشان به معرفی عملیات پرداخته‌اند که می‌توان از اطلاعات آن در این گزارش استفاده کرد. مقاله ایشان با توجه به روش‌های معرفی شده بسیار مناسب می‌باشد. البته بایستی یادآور شد که نتایج ارائه شده در این مقاله مناسب نبوده ولی با این وجود روش‌های بسیار مناسبی را معرفی نموده‌اند. اکثر روش‌های معرفی شده در این مقاله باعث ترکیب مناسبی می‌شود که به نظر می‌رسد به درستی استفاده نشده‌اند [۱۶].

ماروتی و همکارانش در سال ۲۰۱۲ طرح فیوژن برای ترکیب شدن تصاویر باتمرکز متنوع با استفاده از شاخص فازی به عنوان اقدام تمرکز را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله به بررسی همجوشی تصویر چند تمرکز ترکیبی اطلاعات از چند تصویر به یک تصویر واحد با ارایه حداکثر محتوای اطلاعات از تصاویر منبع با تنظیمات مختلف کانونی پرداختند. سطح اطلاعات یا محتوا در تصاویر چندتمرکزی با استفاده از اقدامات تمرکز اندازه‌گیری می‌شود و آن را در تلفیقی از تصاویر با تمرکز متنوع استفاده می‌کنند. روش جدیدتری برای ترکیب تصاویر با استفاده از شاخص فازی به عنوان یک اقدام فوکوس در این مقاله پیشنهاد شده و آن را با تمرکز موجود در مقایسه با اقداماتی مانند جمع اصلاح شده لاپلاس، فرکانس فضایی و واریانس و انرژی گرادینان تصویر تجزیه و تحلیل می‌کنند [۱۱].

جیالو ژیانگ و همکارانشان در سال ۲۰۱۴ روی تشخیص فوکوس با توجه به ترکیب تصاویر کار کرده‌اند. این نوع روش می‌تواند با توجه به نحوه نوشتن در این گزارش مورد استفاده قرار گیرد. در مقاله ایشان پیدا کردن محل فوکوس باعث شده تا بهتر بتوان عملیات ترکیب را انجام داد. ایشان ترکیب با کمک تبدیل موجک انجام می‌دهند که در این گزارش نیز به معرفی آن پرداخته شده است [۹].

عجمی و همکارانش در سال ۲۰۱۵ روی تفسیر موثر خودکار تصویر با استفاده از وزن بهینه شده قابلیت مکمل فیوژن با استفاده از الگوریتم ژنتیک کار کرده‌اند. در این مقاله بازیابی تصاویر مورد علاقه کاربر را از یک پایگاه داده بزرگ و پیچیده است، چرا که محتوای تصویر ویژگی‌های مختلف مانند رنگ، بافت، شکل تعریف شده است. و ما می‌توانیم این ویژگی‌ها را به یک بردار ویژگی است که نشان دهنده یک تصویر است ترکیب کنیم. در روش‌های معمولی، وزن‌های یکسان برای هر ویژگی در نظر گرفته شده اما کاربر علاقه مند به افزایش ویژگی‌های خاصی در برخی تصاویر است. بنابراین، برای غلبه بر این مشکلات، در این مقاله، وزن از ویژگی‌های مختلف باید به صورت مناسب با استفاده از الگوریتم ژنتیک که به ادراک انسان یک بردار ویژگی بهینه سازی شده از هر تصویر را می‌دهد اختصاص داده شده است [۱۳].

بهاوانا و همکارانش در سال ۲۰۱۵ بر روی روند فعلی در تصاویر پزشکی و تلفیقی کار کردند. در این مقاله تصاویر پزشکی، همجوشی فرایندها را به عنوان یک ارزش در نظر گرفته‌اند. نقش این فرایند در پزشکی برای کمک به کارشناسان در تشخیص و پیگیری تکامل بیماری و تصمیم‌گیری‌های درمانی لازم در مورد وضعیت بیمار است در نهایت مقاله چالش‌های موجود در ارتباط با تصاویر پزشکی و همجوشی از طریق نشان دادن بیماری‌های اخیر و اختلالات که از طریق چنین فرایند تجزیه و تحلیل خطاب می‌شود را بیان می‌کند [۱۰].

دیدیر دابیوس و همکارانش در سال ۲۰۱۶ در مورد اصول اساسی ترکیب اطلاعات ناقص و نامشخص تحقیق کردند. در این مقاله پیشنهاد شده که حمایت از اصول اساسی برای همجوشی اطلاعات ناقص و نامشخص باید از فرمول صرف نظر شود این فرمول‌ها را می‌توان در مجموعه، منطق، سفارشات جزئی، نظریه احتمال، توابع باور و یا احتمالات مبهم به دست آورد [۴]. و برای بیان کردن قطعه باید از اطلاعاتی که از منابع مختلف بدست می‌آید استفاده کرد. هدف این مقاله ارائه یک تصویر واحد و یکپارچه از قوانین فیوژن در سراسر تنظیمات مختلف است.

نسیرتم در سال ۲۰۱۶ بر روی بخش دردناک تعیین شده توسط تحریک مکانیکی که از عمل فیوژن نسبت به چند توانبخشی در یک کارآزمایی تصادفی بود کار کردند. در بررسی جامع شواهدی وجود ندارد که نشان دهد عملیات ترکیب دارای اثر مثبت درمانی در درد گردن در بیماران باشد. هدف ما بررسی امکان انتخاب یک زیر گروه از بیماران مزمن بر اساس علائم مشخص که حاکی از درد سگمنتال است، درمان درد سگمنتال از طریق عملیات ترکیب بر اساس محلی سازی بخش غیر رادیولوژی بیان شده است. با این تصور که عملیات ترکیب در این زیرگروه انتخاب شده از بیماران مزمن می‌تواند به کاهش درک گردن درد باشد. بیماران واجد شرایط برای مطالعه یک تصادف به عنوان منشا برای گردن درد خود، وبدون نشانه گردن درد قبلی بودند. درد گردن باید یک علامت برجسته و منشاء درد گزارش شده در خط وسط باشد [۱۲].

باویربستی و همکارانشان در سال ۲۰۱۶ بر روی ترکیب تصاویر مبتنی بر چند فوکوس مختلف کار کرده‌اند. در این مقاله، یک روش جدید ترکیب چند فوکوس جدید مبتنی بر تشخیص چند مقیاس ارائه شده است. روش پیشنهادی بسیار کارآمد است، زیرا حساسیت بصری مورد بررسی در این الگوریتم قادر به تأکید بر مناطق قابل توجه بصری است. برخلاف بسیاری از روش‌های ترکیب چند مقیاس، یک فیلتر متوسط در الگوریتم برای تجزیه تصویر چند مقیاس استفاده شده است. از این رو از لحاظ محاسباتی ساده است. این الگوریتم قادر به شناسایی نواحی متمرکز و تار از تصاویر منبع هستند. در این مدل فقط مناطق متمرکز و تیز در تصویر تلفیق می‌شوند. عملکرد روش پیشنهادی با روش‌های تلفیقی چند فوکوس پیشرفته مقایسه شده است. روش پیشنهادی از لحاظ کیفیت بینایی و معیارهای همجوشی بهتر از آنها عمل می‌کند. همچنین این روش به زمان محاسباتی بسیار کمتری نیاز دارد، بنابراین این امر را برای اجرای زمان واقعی ترجیح داده می‌شود [۲۱].

جیای ما در سال ۲۰۱۹ یک مطالعه مروری بر روی ترکیب تصاویر و اختلاف میان انواع تصاویر در این زمینه انجام داده‌اند. در این مقاله مشخص شده است که تصاویر مادون قرمز می‌توانند بر اساس اختلاف تابش، اهداف را از پیشینه خود متمایز کنند، که در شرایط آب و هوایی و تمام روز / شب به خوبی کار می‌کند. در مقابل، تصاویر قابل مشاهده می‌توانند جزئیات بافت را با وضوح عالی و تعریف مکانی به روشی سازگار با سیستم تصویری انسان ارائه دهند. بنابراین، مطلوب است که این دو نوع تصویر را ترکیب کنید، که می‌تواند مزایای اطلاعات تابش حرارتی در تصاویر مادون قرمز و اطلاعات دقیق بافت را در تصاویر قابل مشاهده ترکیب کند. در این کار، به طور جامع روش‌ها و برنامه‌های موجود برای تلفیق تصاویر مادون قرمز و مرئی بررسی شده است. ابتدا روش‌های تلفیق تصاویر مادون قرمز و مرئی با جزئیات بررسی شده‌اند. در اینجا ثبت تصویر، به عنوان پیش شرط تلفیق تصویر، به اختصار معرفی شده است. همچنین یک مرور کلی از کاربردهای اصلی ترکیب تصویر مادون قرمز و قابل مشاهده ارائه شده است. معیارهای ارزیابی عملکرد ترکیب مورد بحث قرار گرفته و هجده روش و نه معیار ارزیابی معرفی شده است، که می‌تواند یک مرجع مناسب برای روش‌های مختلف ترکیب فراهم کند. این بررسی می‌تواند به عنوان مرجع محققان در ترکیب تصویر مادون قرمز و قابل مشاهده و زمینه‌های مرتبط باشد [۲۰].

۲- الگوریتم پیشنهادی

سیستم پیشنهادی مورد نظر، یک سیستم مبتنی بر موجک می‌باشد که با کمک یک رویه آنتروپی، ویژگی بهتر را برای ترکیب دو تصویر انتخاب می‌کند و سپس با کمک قوانین ترکیب، دو ویژگی از هر تصویر با یکدیگر ترکیب شده و به کمک سیستم تبدیل موجک، تصویر ترکیب شده بدست می‌آید.

تبدیل موجک از ساختاری استفاده می‌کند که در آن یک تصویر به عنوان ورودی دریافت شده و سپس به حالت سیگنال برده می‌شود. ترکیب با استفاده از این روش دسته‌ای از مدل ورودی است که می‌تواند چگالی را در مورد ورودی در لحظه مناسب تضمین کند. تبدیل موجک روشی سریع و کارآمد برای نشان دادن سیگنال‌های صاف و یکنواخت است و با موفقیت در بسیاری از حوزه‌های پردازش و

ارتباط سیگنال مورد استفاده قرار گرفته است. گسترش تبدیل موجک سیگنال یک بعدی به یک تبدیل موجک تصویر دو بعدی می‌تواند ناپیوستگی‌ها را در نقاط لبه ایزوله کند. با این حال، تبدیل موجک (DWT^۱) دو بعدی نمی‌تواند اطلاعات جهت‌دار و بی‌شماری از تصاویر را ضبط کند. برای برطرف کردن این مشکل، می‌توان با کمک منطق فازی^۲ نقاط مناسب را انتخاب و ترکیب را انجام داد. با توجه به این موارد، الگوریتم مورد نظر که شامل ۵ مرحله می‌باشد به صورت زیر تعریف می‌شود (شکل ۲):

✓ خواندن تصویر

✓ اعمال تبدیل DWT به هر تصویر

✓ محاسبه آنتروپی^۳ بر مبنای جدول ویژگی بدست آمده از تبدیل DWT

✓ اعمال قوانین ترکیب ماکزیمم و فازی

✓ تبدیل جدول ویژگی به تصویر ترکیب شده

مطابق روال گفته شده می‌توان هر یک از موارد موجود را به تفصیل مورد بحث قرار داد:

مرحله اول: در این مرحله تصاویر خوانده می‌شود. در این مرحله تصاویر از دوربین‌های دیجیتالی موجود دریافت و در کامپیوتر ذخیره خواهند شد و سپس به صورت یک جدول در سیستم ذخیره خواهد شد.

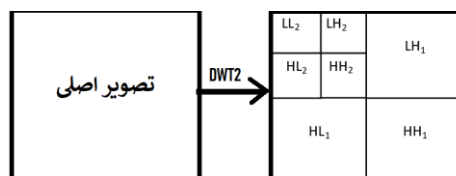
مرحله دوم: در این مرحله تبدیل DWT به تصویر اعمال می‌شود و ضریب تجزیه یا همان جدول ویژگی بدست آمده از انتقال موجک، بدست می‌آید. یک روش تجزیه موجک دوبعدی برای تجزیه تصاویر ورودی استفاده می‌شود. در موجک‌های گسسته، از پیکسل‌های تصاویر به صورت موجک نمونه‌برداری می‌شود که نمونه‌ای از تبدیل فوری می‌باشد. DWT تصویر را در زیر باندهای سطح پایین و زیرشاخه‌های سطح بالا تجزیه می‌کند. این اولین سطح تجزیه است. زیر باند سطح پایین برای بار دوم در سطح دوم تجزیه می‌شود تا مجموعه دیگری از زیرشاخه‌های سطح پایین و سطح بالا تولید شود. چهار مؤلفه که سرانجام برای تلفیق تصاویر انتخاب شده‌اند، زیرباند تقریبی، زیرباند جزئیات افقی، زیرباند جزئیات عمودی و زیرباند جزئیات مورب هستند. این تبدیل تصاویر را به یک مجموعه معمولی از تصاویر فرعی تبدیل می‌کند.

$$[LL_1, LH_1, HL_1, HH_1] = \text{dwt2}(I_1) \quad (1)$$

$$[LL_2, LH_2, HL_2, HH_2] = \text{dwt2}(I_2) \quad (2)$$

روش تجزیه به این صورت تعریف می‌شود که I_1 و I_2 تصاویر منبع هستند، cA_1, cH_1, cV_1, cD_1 و cA_2, cH_2, cV_2, cD_2 به ترتیب

ضرایب تصاویر I_1 و I_2 می‌باشند با کمک موجک تجزیه شده‌اند. هر کدام از این ماتریس‌ها یک چهارم اندازه تصویر اصلی هستند. شکل ۱ این نمونه تبدیل را نشان می‌دهد.



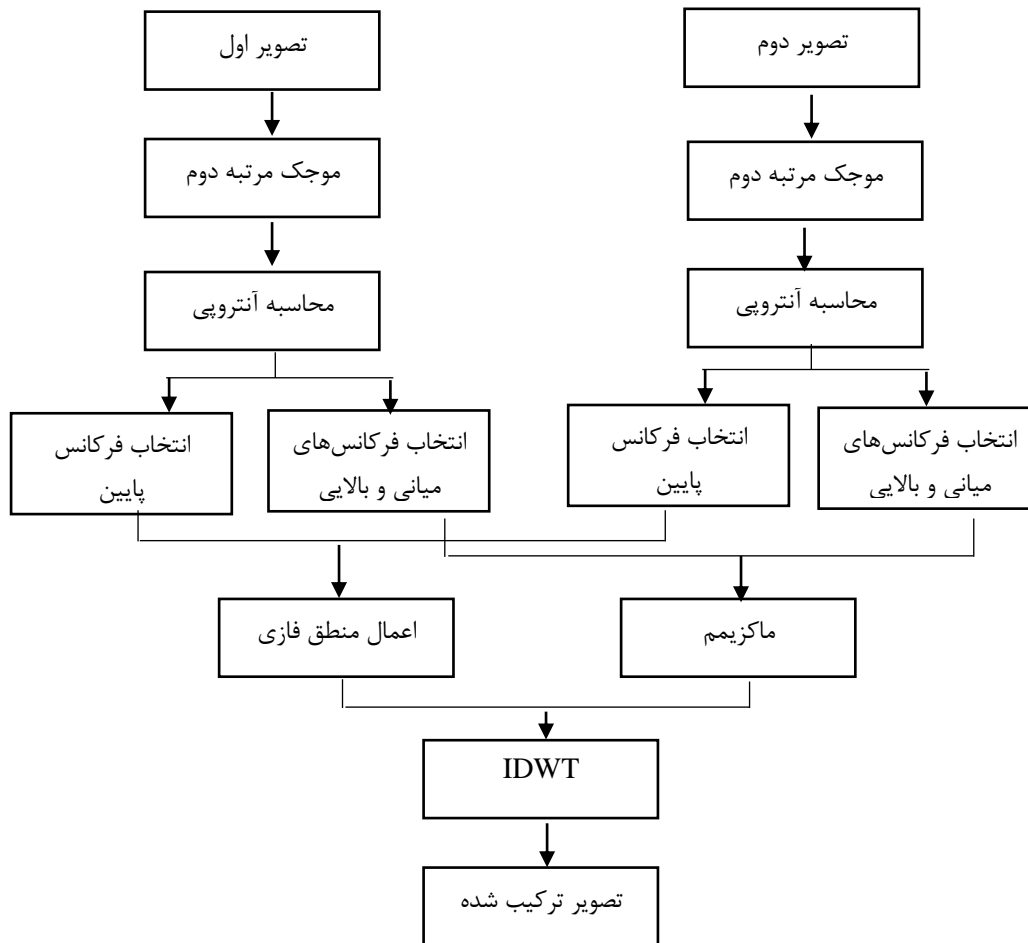
شکل ۱: تبدیل با کمک ویولت

سیستم پیشنهادی مورد نظر توسط دیاگرام زیر ارائه شده است که شامل تبدیل موجک، منطق فازی و استفاده از آنتروپی می‌باشد.

¹ Discrete Wavelet Transform

² Fuzzy Logic

³ Entropy



شکل ۲: الگوریتم پیشنهادی ترکیب تصاویر

مرحله سوم: جدول ویژگی بدست آمده توسط آنتروپی تصویر مورد محاسبه قرار می‌گیرد و بهترین آنتروپی مورد نیاز محاسبه می‌شود. آنتروپی یک تصویر، مقادیری که باعث صافی و نامشخص خواهند شد را ارزش‌گذاری کمتری می‌کند که این امر باعث تیزتر شدن نقاط فوکوس در تصاویر می‌شود، در نتیجه می‌توان بهتر ترکیب را انجام داد. آنتروپی بی‌نظمی یا عدم قطعیت یک سیستم را بیان می‌کند. فرمول ۳ و ۴ جهت محاسبه آنتروپی مورد نظر معرفی شده‌اند. پیکسل‌های قطر اصلی از تبدیل موجک جهت محاسبه بی‌نظمی آن مورد استفاده قرار گرفته است.

$$A = \begin{bmatrix} \alpha_1 & & \\ & \alpha_2 & \\ & & \alpha_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$H = -\sum \alpha_i \log \alpha_i \quad (4)$$

مرحله چهارم: در این مرحله مقادیر تیزتر جهت ترکیب انتخاب می‌شوند. همانگونه که در بخش‌های قبل نیز بیان شد، نقاطی که صاف هستند نمی‌توانند مقادیر مناسبی برای ترکیب باشند. هر تصویر که دارای دو فوکوس در دو بخش می‌باشد، حتما دارای یک بخش صاف خواهد بود که در تصویر دوم جزو نقاط تیز خواهد بود. پس به کمک تشخیص این نقاط تیز بهتر می‌توان ترکیب را انجام داد. زیر باندهای سطح پایین بدست آمده پس از تجزیه تصاویر مبدأ، بر اساس یک تابع عضویت تعریف شده، به مجموعه‌های فازی مربوطه طبقه‌بندی می‌شوند. این مجموعه‌های فازی، برای حداکثر آنتروپی فازی که بهترین ضرایب مناسب برای فرآیند ترکیب زیرباندها هستند، مورد بررسی قرار می‌گیرند. با استفاده از آنتروپی تصویر، می‌توان میزان فاز زیرگونه‌ها را به راحتی تعیین کرد. از این رو تعیین زیر باندها به عنوان ضرایب مناسب قاب ترکیب تصویر با اندازه‌گیری درجه فاز هر تصویر انجام می‌شود.

طبق تئوری اطلاعات، آنتروپی بزرگتر از مجموعه فازی، اطلاعات بیشتری در مورد نقاط تیزتر دارد. از این رو، پس از تعریف کارکردهای عضویت، آنتروپی این مجموعه‌های فازی بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$LL_3 = \begin{cases} LL_1 & \text{اگر } H_1 > H_2 \\ LL_2 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (5)$$

بر اساس فرمول ۵، مقادیر مربوط به زیر باندهایی انتخاب می‌شوند که قرار است در تصویر نهایی حضور داشته باشند. این انتخاب برای مقادیر E1 و E2 که به ترتیب آنتروپی زیر باند پایین تصاویر I1 و I2 هستند، صورت می‌گیرد.

مرحله پنجم: با تبدیل اعمال شده به تصویر نتایج به صورت عددهایی خواهد بود که می‌توان با کمک الگوریتم IDWT جدول ویژگی بدست آمده را به تصویر تبدیل کرد. زیرشاخه‌های با فرکانس بالا با استفاده از فیلتر متوسط، اندازه‌گیری می‌شوند. هر زیرباند تصویر با زیرباند مربوطه آن ترکیب می‌شوند. این ترکیب با کمک فرمول ۶ تا ۸ صورت می‌گیرد.

$$LH_3 = \text{mean}(LH_1 + LH_2) \quad (6)$$

$$HL_3 = \text{mean}(HL_1 + HL_2) \quad (7)$$

$$HH_3 = \text{mean}(HH_1 + HH_2) \quad (8)$$

چهار تصویر حاصل مطابق الگوریتم‌های ترکیب در یکدیگر ادغام می‌شوند. معکوس تبدیل موجک بر روی چهار تصویر حاصل به دست آمده اعمال می‌شود. فرایند معکوس نمونه‌برداری تصویر ترکیب شده را بدیت می‌آورد. نتیجه بازسازی تصویر نهایی با کمک فرمول ۹ می‌باشد.

$$F = \text{IDWT2}(LL_3, LH_3, HL_3, HH_3) \quad (9)$$

۳- روش ارزیابی

از آنجایی که یک تصویر چندگانه (از نظر قدرت تفکیک مکانی، طیفی، زمانی و رادیو متریک) برای بسیاری از مطالعات زمینی ایده‌آل می‌باشد بنابراین سعی می‌شود در طراحی سنجنده‌ها این عوامل تا حد امکان بهینه گردد ولی به دلیل گستردگی کاربردها و مشکلات فنی در طراحی و ساخت سنجنده‌ها، هر سنجنده در کاربرد خاصی مناسب و دارای محدودیت‌هایی در سایر کاربردها می‌باشد از این روست که تنوع و تعدد زیادی در سیستم‌های تصویربرداری سنجنش از دور مشاهده می‌شود [۸].

از طرف دیگر به دلیل نیاز به داده‌هایی با مشخصات ذکر شده در کاربردهای خاص و لزوم بکارگیری و استفاده از داده‌های موجود از هر منطقه روش‌هایی تحت عنوان ادغام داده‌ها مورد توجه اکثر پژوهشگران سنجنش از دور و متخصصین پردازش تصویر قرار گرفته است. بطور کلی ادغام داده‌ها راحت‌تر و اقتصادی‌تر از طراحی و ساخت یک سنسور پیشرفته است که قدرت تفکیک مکانی و طیفی را با هم داشته باشد. بنابراین استفاده توأمان از اطلاعات مکانی و طیفی بدون شک بدون استفاده از روش‌های تلفیق داده‌ها، مقدور نمی‌باشد [۱۰].

ایده اصلی در ادغام داده‌ها بر این است که، به کمک داده‌هایی که دارای قدرت مکانی بهتری می‌باشند، داده‌هایی تولید شود که دارای مزایای هر دو داده باشند؛ اما در عمل این اتفاق صددرصد رخ نمی‌دهد و با بهتر نمودن تفکیک مکانی داده‌های چند طیفی درصدی از اطلاعات طیفی از دست می‌روند. البته در این بین کیفیت مکانی تصویر ادغامی نیز در مقایسه با تصویر اصلی دارای کیفیت مکانی پایینی خواهد بود [۱۶].

جهت ارائه واقعیت و معیار در زمینه دقت جهت مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی مکانی و مقایسه نتایج روش‌ها باید یک تعریف دقیقی از کیفیت مکانی داشته باشیم و بر اساس همین تعریف هم می‌توان واقعیت را بررسی نمود و هم روش‌های مختلف ارزیابی مکانی را تجزیه و تحلیل نمود [۲۰].

بطور کلی کیفیت مکانی عبارت است از تشخیص پدیده‌ها و تعیین موقعیت آنها با اندازه‌های متفاوت، که در تصاویر حاصل از ادغام اصولاً جایابی و تغییر موقعیت پدیده‌های مختلف وجود نخواهد داشت و کیفیت مکانی تنها در حدود پدیده‌های مختلف (لبه‌ها و مرزها) تعیین و بررسی می‌گردد که این حدود در تصاویر مختلف دارای تغییراتی است و در همین حدود مات شدگی را که متناسب با کیفیت مکانی است می‌توان بررسی نمود.

پس با این تفصیل در همه روش‌های ادغام، تصویر حاصل از ادغام هم از نظر کیفیت مکانی و هم از نظر طیفی در مقایسه با تصاویر اصلی در سطح پایین‌تری قرار دارند. به منظور بررسی اعتبار اطلاعات حاصل از تلفیق در دو بعد مکانی و طیفی و همچنین به منظور مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف ادغام (پس از انجام ادغام)، از روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت، نظیر نسبت سیگنال به نویز (PSNR)، همبستگی و آنتروپی و مقایسه پارامترهای آماری نظیر میانگین و واریانس، استفاده می‌شود. اما اینجا ذکر این نکته ضروری است که همه این روش‌ها، دقت و صلاحیت ارزیابی را ندارند چون هر کدام از این روش‌ها بر اساس ویژگی و معیار خاصی ارزیابی را انجام می‌دهند [۱۶]. روش PSNR یکی از بهترین روش‌های ارزیابی کیفیت می‌باشد که به شکل زیر تعریف می‌شود [۲۰]:

$$MSE = \frac{1}{p \times q} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q (F(i,j) - I(i,j))^2 \quad (10)$$

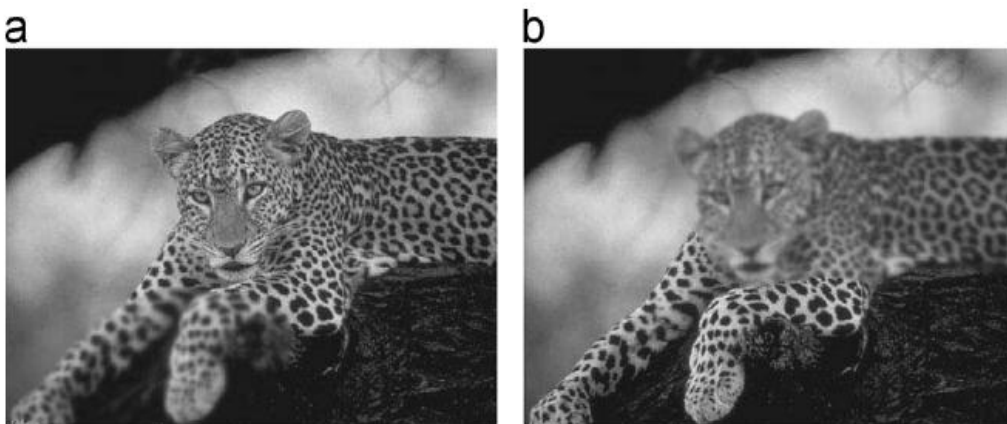
$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\max^2}{MSE} \right) \quad (11)$$

در فرمول ۱۰ مقدار max برابر بیشترین اندازه‌ای است که یک پیکسل می‌تواند دریافت کند و MSE میانگین مربعات اختلاف دو تصویر خواهد بود. F تصویر ترکیب شده و I تصویر اصلی خواهند بود. روش دیگری که جهت ارزیابی مورد استفاده قرار گرفته است، روش میانگین خطای مطلق (MAE) می‌باشد. این روش میزان نزدیکی تصویر ترکیب شده به تصویر اصلی را محاسبه می‌کند و به صورت فرمول ۱۲ نشان داده می‌شود.

$$MAE = \frac{1}{p \times q} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q |F(i,j) - I(i,j)| \quad (12)$$

۴- آزمایش و نتایج

جهت مقایسه الگوریتم‌های معرفی شده در این تحقیق تصاویر مختلفی معرفی شده است. سه تصویر اولیه موجود تصاویر کتاب، ببر و پیسی هستند. دلیل انتخاب این سه تصویر موجود بودن اطلاعات مربوط به آنها مطابق الگوریتم می‌باشد. تصویر شکل شماره ۳ که از نظر معیار MAE و PSNR مورد سنجش قرار می‌گیرد، تصویر ببر می‌باشد. تصویر زیر دو فوکوس مختلف از تصویر ببر را نشان می‌دهد.



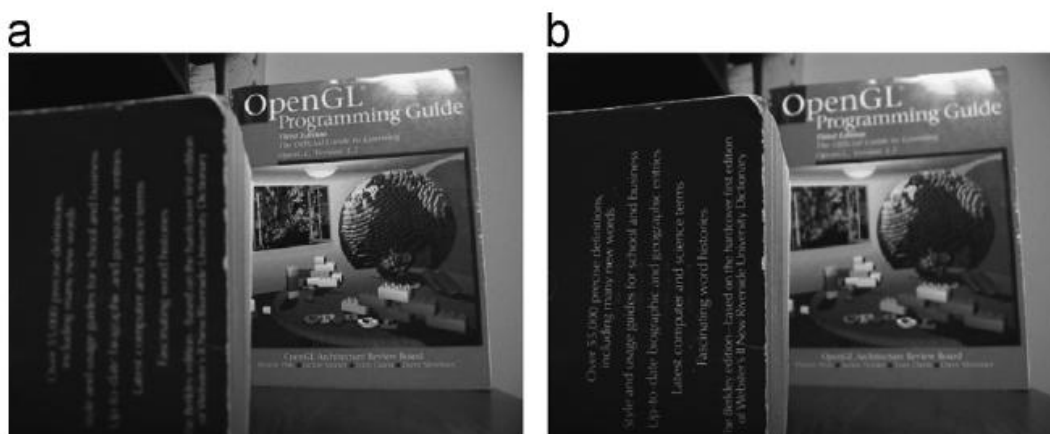
شکل ۳: تصویر ببر. a و b تصاویر فوکوس شده در سمت راست و چپ

جدول ۱ نتایج را برای تشخیص کیفیت الگوریتم پیشنهادی معرفی شده بر مبنای ۲ روش اصلی ارائه کرده است که تصویر انتخاب شده، تصویر کتاب می‌باشد.

جدول ۱: نتایج دو الگوریتم فوق برای تصویر ببر

الگوریتم	MAE	PSNR
الگوریتم پیشنهادی	۰.۰۲۱	۰.۷۳
موجک	۰.۳	۰.۶۸
فازی	۰.۰۹	۰.۵۱
ویژگی سطح پایین	۰.۶	۰.۳

جدول ۱ مشخص می‌کند که براساس معیارهای PSNR و MAE ترکیب تصاویر ببر در دو فوکوس مختلف جواب بهتری را نسبت به روش‌های دیگر و به ترتیب به اندازه ۰.۷۳ و ۰.۰۲۱ بدست آورده است. تصویر شکل شماره ۴ که از نظر معیار MAE و PSNR مورد سنجش قرار می‌گیرد، تصویر کتاب می‌باشد. تصویر زیر دو فوکوس مختلف از تصویر کتاب را نشان می‌دهد.



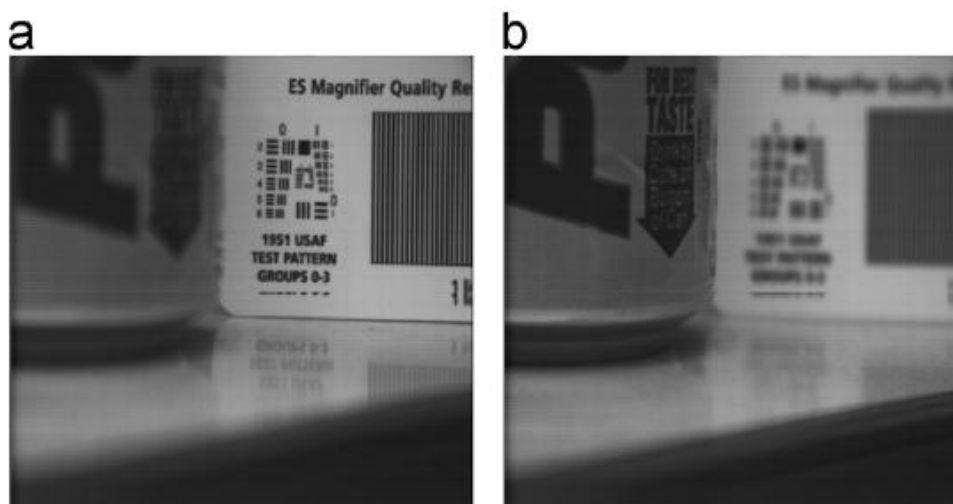
شکل ۳: تصویر کتاب. a و b تصاویر فوکوس شده در سمت راست و چپ

جدول ۲ نتایج را برای تشخیص کیفیت الگوریتم معرفی شده بر مبنای ۲ روش اصلی ارائه کرده است که تصویر انتخاب شده، تصویر کتاب می‌باشد.

جدول ۲: نتایج دو الگوریتم فوق برای تصویر کتاب

الگوریتم	MAE	PSNR
الگوریتم پیشنهادی	۰.۰۳۷	۰.۷۸
موجک	۰.۳۱	۰.۷
فازی	۰.۰۲۱	۰.۶۲
ویژگی سطح پایین	۰.۴۱	۰.۴۵

جدول ۲ مشخص می‌کند که براساس معیار PSNR ترکیب تصاویر کتاب در دو فوکوس مختلف جواب بهتری را نسبت به روش‌های دیگر به اندازه ۰.۷۸ بدست آورده است. این تصویر با کمک روش فازی برای معیار MAE بهترین جواب را ارائه کرده است که بخاطر شلوع بودن تصویر می‌باشد. تصویر شکل شماره ۵ که از نظر معیار MAE و PSNR مورد سنجش قرار می‌گیرد، تصویر پپسی می‌باشد. تصویر زیر دو فوکوس مختلف از تصویر پپسی را نشان می‌دهد.



شکل ۴: تصویر پپسی

جدول ۳ نتایج را برای تشخیص کیفیت الگوریتم معرفی شده بر مبنای ۲ روش اصلی ارائه کرده است که تصویر انتخاب شده، تصویر پپسی می‌باشد.

جدول ۳: نتایج دو الگوریتم فوق برای تصویر پپسی

الگوریتم	MAE	PSNR
الگوریتم پیشنهادی	۰.۰۳۸	۰.۷۶
موجک	۰.۲۸	۰.۵۳
فازی	۰.۰۸	۰.۶۶
ویژگی سطح پایین	۰.۲	۰.۵

جدول ۳ مشخص می‌کند که براساس معیارهای PSNR و MAE ترکیب تصاویر پپسی در دو فوکوس مختلف جواب بهتری را نسبت به روش‌های دیگر و به ترتیب به اندازه ۰.۷۶ و ۰.۰۳۸ بدست آورده است.

نتیجه گیری

مطابق جداول ارائه شده به نظر می‌رسد که روش معرفی شده توانسته است نسبت به روش موجک، فازی و ویژگی سطح پایین تصویر نتایج بسیار بهتری را بدست آورد به گونه‌ای که تصاویر ترکیب شده در اکثر موارد دارای جواب بهتری برای معیارهای MAE و PSNR هستند.

سپاسگزاری

با سپاس از خداوند منان که به مرا در جهت رشد علم فرصت بخشید.

منابع و مراجع

- [1] Lim, J. S. (1990). Two-dimensional signal and image processing. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1990, 710 p.
- [2] Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (2014). Image processing, analysis, and machine vision. Cengage Learning.
- [3] El-Gamal, F. E. Z. A., Elmogy, M., & Atwan, A. (2016). Current trends in medical image registration and fusion. Egyptian Informatics Journal, 17(1), 99-124.
- [4] Dubois, D., Liu, W., Ma, J., & Prade, H. (2016). The basic principles of uncertain information fusion. An organised review of merging rules in different representation frameworks. Information Fusion, 32, 12-39.
- [5] Raji, R., Mishra, D., & Nair, M. S. (2015). A Novel Texture Based Automated Histogram Specification for Color Image Enhancement Using Image Fusion. Procedia Computer Science, 46, 1501-1509.
- [6] Dhingra, N., Nandal, A., Manchanda, M., & Gambhir, D. (2015). Fusion of Fuzzy Enhanced Overexposed and Underexposed Images. Procedia Computer Science, 54, 738-745.
- [7] Biswas, B., Dey, K. N., & Chakrabarti, A. (2015). Remote Sensing Image Fusion using Multithreshold Otsu Method in Shearlet Domain. Procedia Computer Science, 57, 554-562.
- [8] Zhang, X., Li, X., Liu, Z., & Feng, Y. (2014). Multi-focus image fusion using image-partition-based focus detection. Signal Processing, 102, 64-76.
- [9] Xiaoli Zhang and etc, Multi-focus image fusion using image-partition-based focus detection, Signal Processing, 102(2014)64-76.
- [10] Bhavana, V., & Krishnappa, H. K. (2015). Multi-Modality Medical Image Fusion using Discrete Wavelet Transform. Procedia Computer Science, 70, 625-631.
- [11] Maruthi, R., & JayaKumari, C. (2012). Fusion Scheme for fusing images with diverse focuses using index of fuzziness as a focus measure. Procedia Engineering, 30, 584-590.
- [12] Nyström, B., Svensson, E., Larsson, S., Schillberg, B., Mörk, A., & Taube, A. (2016). A small group Whiplash-Associated-Disorders (WAD) patients with central neck pain and movement induced stabbing pain, the painful segment determined by mechanical provocation: Fusion surgery was superior to multimodal rehabilitation in a randomized trial. Scandinavian Journal of Pain, 12, 33-42.
- [13] Ameer, A., & Kumar, K. S. (2015). Efficient Automatic Image Annotation Using Optimized Weighted Complementary Feature Fusion Using Genetic Algorithm. Procedia Computer Science, 58, 731-739.
- [14] Meng, B. C. C., Ngah, U. K., Khoo, B. E., Shuaib, I. L., & Aziz, M. E. (2015). A Framework of MRI Fat Suppressed Imaging Fusion System for Femur Abnormality Analysis. Procedia Computer Science, 60, 808-817.
- [15] Kishore, P. V. V., Mallika, K. L., Prasad, M. V. D., & Narayana, K. L. (2015). Denoising Ultrasound Medical Images with Selective Fusion in Wavelet Domain. Procedia Computer Science, 58, 129-139.
- [16] W.Huang, Z.Jing, Evaluation of focus measure sin multi-focus image fusion, Pattern Recognit.Lett. (2007)493-500.
- [17] Pramanik, S., Prusty, S., Bhattacharjee, D., & Bhunre, P. K. (2013). A Region-to-pixel based Multi-Sensor Image Fusion. Procedia Technology, 10, 654-662.
- [18] Minghui, D., Qingshuang, Z., & Lanying, Z. (2012). Research on Fusion of Infrared and visible images based on directionlet transform. IERI procedia, 3, 67-72.
- [19] Sahu, D. K., & Parsai, M. P. (2012). Different image fusion techniques—a critical review. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), 2(5), 4298-4301.
- [20] Ma, J., Ma, Y., & Li, C. (2019). Infrared and visible image fusion methods and applications: A survey. Information Fusion, 45, 153-178.
- [21] Bavirisetti, D. P., & Dhuli, R. (2016). Multi-focus image fusion using multi-scale image decomposition and saliency detection. Ain Shams Engineering Journal.