

مقایسه تحلیلی اثربخشی انواع تبدیل‌های توسعه‌یافته موجک بر شفافیت و مقاومت نشانه‌گذاری تصویر مبتنی بر تجزیه ماتریسی

ملیحه مردانپورا^۱، محمدعلی زارع چاهوکی^۲ و حسین جوانشیری^۳

چکیده

با پیشرفت فناوری، دستکاری و انتشار رسانه‌های رقومی مانند عکس، صوت و ویدئو به سرعت در حال گسترش است. این روند سبب شده است تا مشکلاتی مانند کپی غیرمجاز نیز اهمیت بیشتری پیدا کند. نشانه‌گذاری روشی برای حفاظت از حق نشر و یا انتقال پنهان اطلاعات است. استفاده از تبدیل موجک به دلیل توانایی خوب آن در مدل‌سازی سیستم بینایی انسان رویکرد مناسبی در انواع روش‌های نشانه‌گذاری می‌باشد. تبدیل‌های توسعه‌یافته موجک نیز همچون تبدیل موجک در انواع کاربردهای پردازش تصویر به کار گرفته شده‌اند و نتایج خوبی از آن‌ها گزارش شده است. تاکنون پژوهشی متمرکز در حوزه اثربخشی موجک‌های توسعه‌یافته بر مقاومت نشانه‌گذاری ارائه نشده است. در این مقاله تاثیر توسعه‌های تبدیل موجک در حمله‌های مختلف بررسی شده است. بدین منظور چارچوبی عمومی مبتنی بر تجزیه ماتریسی مقدار تکین دوقطری، برای جاسازی و استخراج نشانه پیشنهاد می‌شود. در آزمایش‌های صورت گرفته طیف گسترده‌ای از انواع حمله‌ها جهت آزمون مقاومت نشانه‌گذاری استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که موجک‌های سنتی مقاومت خوبی مقابل حمله‌هایی نظیر فشردگی و نویزها دارند اما در برابر حمله‌های هندسی مانند دوران و قیچی کردن مقاومت کمتری دارند. در عوض توسعه‌های موجک گسسته چندجهته برخلاف موجک سنتی مقاومت بهتری در برابر حمله‌های هندسی دارند.

کلید واژه‌ها

نشانه‌گذاری رقومی، تبدیل موجک، توسعه‌های تبدیل موجک، تجزیه ماتریسی

۱ مقدمه

برای جلوگیری از این مشکلات، نشانه‌گذاری تصویر راه‌حلی مناسب برای حفاظت از حق نشر می‌باشد. نشانه‌گذاری یکی از روش‌های پنهان کردن اطلاعات است که در آن اطلاعات محرمانه که به آن نشانه گفته می‌شود، طی فرآیند جاسازی^۱ به تصویر میزبان افزوده می‌شود. درج نشانه به‌گونه‌ای صورت می‌گیرد که تصویر میزبان علاوه بر اینکه کم‌ترین تغییر از نظر بینایی انسان و ماشین داشته باشد، بتواند از نشانه‌در برابر انواع دستکاری‌های تصویری محافظت کند. پس از رویه جاسازی، نشانه به‌منظور شناسایی یا

دردسترس بودن ابزارهای ویرایش تصاویر و رشد سریع اینترنت سبب شده است که افراد به‌سادگی بتوانند تصاویر را تغییر داده و آن‌ها را منتشر کنند. این امر باعث می‌شود مسائلی مانند نقض قوانین حق تکثیر بروز یابد.

این مقاله در دی‌ماه ۱۳۹۴ دریافت، در تیرماه ۱۳۹۵ بازنگری و در آذرماه همان سال پذیرفته شد.

^۱ دانشجوی کارشناسی‌ارشد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد

رایانامه: malihe.mardanpour@stu.yazd.ac.ir

^۲ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد

رایانامه: chahooki@yazd.ac.ir

^۳ دانشکده علوم ریاضی، گروه ریاضی محض، دانشگاه یزد

رایانامه: h.javanshiri@yazd.ac.ir

شده است که از آن بیشتر در تحقیقات نشانه‌گذاری و پردازش تصویر استفاده شود [۷]. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به نمایش چندریزگی^۸ آن اشاره کرد. در واقع قدرت چندریزگی در توانایی تجزیه یک سیگنال به جزئیات کوچک و کوچک‌تر است. ویژگی دیگر DWT شباهت آن به سیستم بینایی انسان^۹ (HVS) می‌باشد. HVS حساسیت‌های مختلفی نسبت به باندهای فرکانسی گوناگون و جهت‌های مختلف آنها دارد. این ویژگی HVS به تجزیه چندریزگی تبدیل موجک بسیار شباهت دارد. از این رو DWT می‌تواند به خوبی HVS را مدل‌سازی کند [۸]. DWT هم‌چنین برای شناسایی نواحی فرکانسی سیگنال تصویر بسیار مناسب است و از این رو نشانه می‌تواند به صورت کارا تعبیه شود [۹]. روش‌های نشانه‌گذاری بر اساس نیاز به وجود تصویر میزبان در فرآیند استخراج به دو دسته کور و غیرکور طبقه‌بندی می‌شوند. در روش‌های کور، نشانه بدون تصویر میزبان از تصویر نشانه‌گذاری شده استخراج می‌شوند و در غیرکور برای استخراج نشانه به تصویر اصلی نیاز است [۱۰].

پس از معرفی تبدیل موجک و عملکرد خوب آن در زمینه‌های مختلف، محققان تبدیل‌های مختلفی را بر اساس آن ایجاد کردند. این تبدیل‌ها توسعه‌ای بر موجک کلاسیک می‌باشند و هریک سعی کرده‌اند موجک سنتی را بهبود دهند. از تبدیل‌های توسعه‌یافته موجک می‌توان به تجزیه بسته موجک^{۱۱} (WPD)، تبدیل چندموجک^{۱۲} (MWT) و تبدیل موجک گسسته افزونه^{۱۳} (RDWT) اشاره کرد. این تبدیل‌ها در بخش ۲ به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند. موجک سنتی در ارتباط با تکنیک‌های نقطه‌ای بسیار کارا هستند در حالی که در ابعاد بالاتر که معمولاً انواع دیگر تکنیک‌ها ارائه می‌شوند، به عبارت‌های زیادی جهت نمایش دقیق این داده‌ها نیاز می‌باشد. بنابراین با افزایش حساسیت موجک‌های سنتی به جهت‌ها و برای غلبه بر آنها موجک‌های جهتی ارائه شده‌اند. در این راستا روش‌های متنوعی در سال‌های اخیر ارائه شده است. موجک‌های پیچیده^{۱۴}، مرکز^{۱۵}، تیغ^{۱۶}، پیچک^{۱۷}، قیچک‌ها، براشلت^{۱۸} و بندلت^{۱۹} ها در خانواده موجک‌های جهتی قرار می‌گیرند [۱۱]. این تبدیل‌ها در کاربردهای مختلف پردازش تصویر نظیر رفع نویز [۱۲]، فشرده‌سازی [۱۳]، قطعه‌بندی [۱۴]، بازیابی تصویر [۱۵] و

اعتبارسنجی^۱ مالک طی فرآیند استخراج از تصویر نشانه‌گذاری شده بازیابی می‌شود [۱]. هر سیستم نشانه‌گذاری می‌بایست ویژگی‌های مقاومت، شفافیت، ظرفیت و امنیت را داشته باشد. به توانایی تصویر نشانه‌گذاری شده در حفظ داده‌های نشانه پس از اعمال انواع حمله‌ها مقاومت می‌گویند. انواع روش‌های نشانه‌گذاری از نظر مقاومت به سه دسته مقاوم، شکننده و نیمه‌شکننده تقسیم می‌شوند. شفافیت و یا نامرئی بودن به شباهت ادراکی میان تصاویر میزبان و نشانه‌گذاری شده گفته می‌شود. این ویژگی نشان‌دهنده این واقعیت است که رویه جاسازی در روش‌های نشانه‌گذاری باید به گونه‌ای باشد که اثر قابل مشاهده‌ای بر داده میزبان نداشته باشد. به تعداد بیت‌های گنجانده شده در تصویر، ظرفیت می‌گویند.

مقاومت و شفافیت از مهم‌ترین ویژگی‌های نشانه‌گذاری می‌باشند که رابطه معکوس با هم دارند. یعنی هرچه شفافیت یک روش بهتر شود، مقاومت آن در برابر حمله‌ها کمتر می‌شود و برعکس با افزایش مقاومت شفافیت تصویر کمتر می‌شود. از این رو روش‌های نشانه‌گذاری باید میان این دو ویژگی توازن برقرار کنند. در الگوریتم‌های نشانه‌گذاری ضریبی به نام ضریب مقیاس^۲ که در فرمول‌های جاسازی و استخراج به کار گرفته می‌شود، نقش برقرار کننده این تعادل را برعهده دارد. بنابراین، چالش اصلی که در نشانه‌گذاری وجود دارد، ایجاد طرحی است که علاوه بر شفافیت بالا، مقاومت خوبی نیز در برابر انواع حمله‌ها داشته باشد [۲]. تکنیک‌های نشانه‌گذاری تصویر از نظر محل درج نشانه به دو دسته اصلی حوزه تصویر^۳ [۳] و فرکانس^۴ [۴] تقسیم می‌شوند. طرح‌های اولیه نشانه‌گذاری در حوزه تصویر معرفی شدند که در آن‌ها، نشانه با تغییر مقادیر پیکسل‌های تصویر میزبان به طور مستقیم جاسازی می‌شود. این روش‌ها محاسبات کم‌هزینه و پیاده‌سازی ساده‌ای دارند. اما ظرفیت کمی دارند، به راحتی کشف می‌شوند، شفافیت پایینی دارند و در برابر حمله‌های خرابکارانه تصویری شکننده هستند [۵]. الگوریتم‌های حوزه فرکانس، با تغییر دادن بزرگی ضرایب تصویر در حوزه فرکانس، نشانه را جاسازی می‌کنند. این روش‌ها اطلاعات بیشتری را می‌توانند در خود جای دهند. هم‌چنین مقاومت بیش‌تری در برابر حمله‌های پردازش تصویر و دستکاری‌های بدخواهانه دارند [۶]. از تبدیل‌های شناخته شده حوزه فرکانس می‌توان تبدیل فوریه گسسته^۵ (DFT)، تبدیل موجک گسسته^۶ (DWT) و تبدیل کسینوسی گسسته^۷ (DCT) را نام برد [۵].

DWT به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصربه‌فرد نسبت به سایر تبدیل‌های حوزه فرکانس کارایی بهتری دارد و همین موضوع سبب

⁸Multi-resolution

⁹Human Visual System

¹⁰Wavelet Packet Decomposition

¹¹Multi Wavelet Transform

¹²Redundant Discrete Wavelet Transform

¹³Complex wavelet

¹⁴Contourlet

¹⁵Ridgelet

¹⁶Curvelet

¹⁷Brushlet

¹⁸Bandelet

¹Authentication

²Scaling factor

³Spatial

⁴Frequency

⁵Discrete Fourier Transform

⁶Discrete Wavelet Transform

⁷Discrete Cosine Transform

آورده شده است. نتیجه‌گیری و پژوهش‌های آتی نیز در بخش ۵ توضیح داده شده است.

۲ مفاهیم بنیادی

در این بخش تبدیل‌های توسعه‌یافته موجکی که در این مقاله مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، همراه با روابط و فرمول‌ها تشریح می‌شوند. همچنین در این بخش، چگونگی ایجاد روش تجزیه ماتریسی BSVD بیان می‌شود.

۲-۱ تبدیل‌های توسعه‌یافته موجک

پس از معرفی تبدیل موجک و با توجه به عملکرد خوب آن در زمینه‌های مختلف از جمله در پردازش سیگنال و تصویر، محققان با مطالعه روی آن سعی در بهبود آن داشته‌اند. از این رو تبدیل‌های مختلفی براساس تبدیل موجک ایجاد شده‌اند. در این قسمت مهمترین تبدیل‌های این حوزه معرفی می‌شوند.

۲-۱-۱ تبدیل بسته موجک

WPD توسعه‌ای از تبدیل موجک است که نسبت به DWT سیگنال در آن از میان فیلترهای بیش‌تری عبور می‌کند. در DWT هر سطح تنها به وسیله عبور ضرایب تقریب قبلی از فیلترهای بازتابی^۳ تریبیعی^۳ بالاگذر و پایین‌گذر محاسبه می‌شود. اما در WPD علاوه بر ضرایب تقریب، ضرایب جزئی نیز تجزیه می‌شوند و درختی دودویی کامل می‌سازند. به دلیل شکل‌های مختلف WPD و تاثیرات متفاوت آن‌ها، انتخاب یک بسته موجک مناسب، مهم است. بهترین الگوریتم، مجموعه‌ای از پایه‌ها را که بهترین نمایش داده‌ها را طبق یک تابع هزینه مشخص فراهم می‌کند. یکی از این توابع استفاده از قانون آنتروپی شانون بهینه است که براساس آن، بسته‌ای که کمترین تابع هزینه را در میان همه بسته‌ها داشته باشد، انتخاب می‌شود [۲۲].

۲-۱-۲ تبدیل چندموجکه

در پژوهش‌های حوزه کدگذاری تصویر سه ویژگی (۱) تعامد برای تضمین قطع همبستگی ضرایب زیرباند، (۲) تقارن، برای پردازش سیگنال‌های با طول متناهی بدون افزونگی و (۳) فیلترهای با طول متناهی برای کارایی محاسباتی، مهم هستند. بیشتر تبدیل‌های موجک اسکالر نمی‌توانند هر سه این ویژگی‌ها را هم‌زمان باهم داشته باشند. برای فائق آمدن بر این محدودیت‌ها، MWTها ارائه شدند که تعامد و تقارن را با کم‌کردن محدودیت عدم وابستگی زمانی^۴ به‌طور هم‌زمان فراهم می‌کنند. چندموجکه‌ها را می‌توان تعمیمی بر موجک‌های اسکالر دانست، اگرچه تفاوت‌های مهمی بین این دو نوع تبدیل وجود دارد. موجک‌های اسکالر یک تابع

استخراج ویژگی [۱۶] استفاده می‌شوند. این تبدیل‌ها در بخش ۲ تشریح می‌شوند.

در شاخه جبرخطی، به تجزیه یک ماتریس به حاصل ضرب چند ماتریس، تجزیه ماتریسی یا فاکتورگیری ماتریسی گفته می‌شود. روش‌های مختلفی برای تجزیه ماتریس‌ها وجود دارد که هر یک برای دسته خاصی از مسائل استفاده می‌شوند. روش‌هایی همچون تجزیه شُر، QR، LU، جردن و تجزیه مقدار تکین^۱ (SVD) چند نمونه از این روش‌ها هستند. تبدیل SVD یک روش تجزیه طیفی است که در گروه روش‌های مبتنی بر مقادیر تکین قرار می‌گیرد. این تبدیل در کاربردهای پردازش سیگنال و تصویر مانند فشرده‌سازی تصویر [۱۷]، کاهش نویز [۱۸] و نشانه‌گذاری تصویر [۶] بسیار استفاده می‌شود. طرح‌های نشانه‌گذاری زیادی بر پایه‌ی این تبدیل ارائه شده‌اند که در آنها از SVD به‌تنهایی و هم‌چنین به همراه تبدیل‌های دیگر استفاده شده است [۱۹]. مقدار تکین دو قطری^۲ (BSVD) روش دیگر تجزیه ماتریسی است که بر اساس SVD ایجاد می‌شود. این روش مقادیر ویژه‌ی مشابه با SVD را تولید می‌کند اما نحوه محاسبه این مقادیر متفاوت است و طبق آزمایشی که در [۲۰] انجام گرفته، BSVD بهتر می‌باشد. هم‌چنین در BSVD چهار کلید بدست می‌آید که از این کلیدها در استخراج نشانه‌گذاری و به‌منظور امنیت بیشتر آن استفاده می‌شود، درحالی‌که در SVD تنها دو کلید بدست می‌آید. به‌طوری‌که در BSVD چهار کلید و در SVD دو کلید بدست می‌آید. کلیدها امنیت نشانه‌گذاری را فراهم می‌کنند [۲۰].

از این رو، با توجه به نتایج خوبی که انواع توسعه‌های موجک در نشانه‌گذاری تصویر داشته‌اند و هم‌چنین تاثیر خوبی که در ترکیب با روش‌های تجزیه ماتریسی ارائه داده‌اند، در این مقاله تبدیل‌های توسعه‌یافته موجک را در قالب یک چارچوب عمومی مقایسه شده است. در [۲۱]، با توجه به بررسی‌هایی که روی انواع موجک‌ها انجام دادیم، یک روش نشانه‌گذاری شفاف و مقاوم تصویر با استفاده از قیچک‌ها و BSVD معرفی کرده‌ایم. در این مقاله، چارچوبی عمومی برای نشانه‌گذاری براساس تجزیه BSVD ارائه شده است که بتوان با استفاده از آن هر یک از تبدیل‌های موجک توسعه‌یافته را آزمایش کرد. در این چارچوب ابتدا تصویر میزبان توسط یکی از تبدیل‌های توسعه‌یافته موجک تجزیه می‌شود و سپس BSVD روی یکی از زیرباندهای حاصل اعمال شده و نشانه در مقادیر تکین بدست‌آمده گنجانده می‌شود. چارچوب پیشنهادی روی تصاویر با ویژگی‌های بافتی متفاوت و هم‌چنین طیف وسیعی از حمله‌ها آزمایش شده است تا اثربخشی انواع تبدیل‌های موجک روی انواع تصاویر و حمله‌ها بررسی شود.

در ادامه این مقاله در بخش ۲ تبدیل‌های توسعه‌یافته موجک و BSVD تشریح می‌شوند. چارچوب عمومی پیشنهادی را در بخش ۳ بیان می‌کنیم. در بخش ۴ پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج تجربی

^۳Quadrature mirror filter

^۴Time-invariance

^۱Singular Value Decomposition

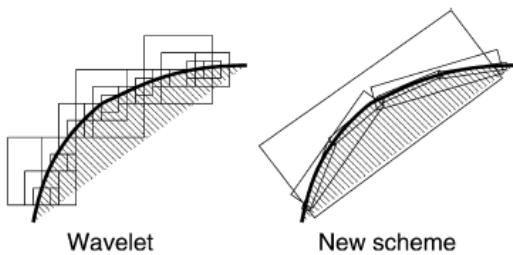
^۲Bidiagonal

$$d_j[k] = (c_{j+1}[k] * g_j[-k]) \quad (9)$$

$$c_{j+1}[k] = \frac{1}{2}(c_j[k] * h_j[k]) + d_j[k] * g_j[k] \quad (10)$$

۲-۱-۴ موجک‌های چندجهته

بسیاری از کاربردهای پردازش تصویر از نمایش‌های تنک^۲ تصویر بهره می‌برند. معمولاً این نمایش‌ها از طریق تبدیل‌های معکوس‌پذیر و غیرافزونه بدست می‌آیند. در حال حاضر محبوب‌ترین تبدیل‌ها برای این منظور، تبدیل‌های موجک و کسینوسی گسسته هستند. به‌طور عمده موفقیت موجک به دلیل کارایی خوب آن برای توابع صاف تکه‌ای یک‌بعدی است اما متأسفانه در دو بعد این‌گونه نیست. در سیگنال‌های صاف تکه‌ای دوبعدی مانند تصاویر، ناحیه‌های صاف، توسط لبه‌ها از یکدیگر ظ و لبه‌ها در طول منحنی‌های صاف یعنی مرزها قرار گرفته‌اند. بنابراین تصاویر شامل ساختارهای هندسی ذاتی هستند. موجک‌های دوبعدی در جداسازی ناپیوستگی‌های نقاط لبه‌ها خوب هستند اما همواری در طول منحنی‌های صاف را در نظر نمی‌گیرند. شکل (۱) را در نظر بگیرید. این شکل، مرز هموار را نشان می‌دهد. به دلیل اینکه موجک‌های دوبعدی از ضرب تانسوری موجک‌های یک‌بعدی بدست می‌آیند، برای نمایش این منحنی توسط موجک محدود به استفاده از عبارات‌های زیادی هستیم و هرچه مقیاس ریزتر می‌شود، این عبارات بیشتر شده و محدودیت موجک واضح‌تر می‌شود. بنابراین برای بازنمایی مناسب لبه تصاویر به ضرایب موجک زیادی نیاز است. اما نمایش این مرز توسط موجک‌های چندجهته به‌صورت بهینه انجام می‌شود [۲۷]. در ادامه با تبدیل‌های تیغک، مرزک و چیچک آشنا خواهیم شد.



شکل ۱ نمایش مرز هموار توسط موجک و موجک‌های چندجهته [۲۸]

۲-۱-۵ تیغک

برای غلبه بر ضعف موجک‌ها در ابعاد بالاتر، کندس و دونوهوردر [۲۶] تبدیل جدیدی به‌نام تیغک ابداع کردند. این تبدیل به شیوه موثری با تکین‌های خطی در دو بعد سروکار دارند. ایده این تبدیل، نگاشت تکین خطی به تکین نقطه‌ای با استفاده از تبدیل رادون^۳ است. تبدیل تیغک پیوسته^۴ (CRT) تابع دو متغیره

مقیاس و یک تابع موجک دارند اما چندموجک‌ها ممکن است دو یا بیش‌تر تابع مقیاس و موجک داشته باشند. بیش‌تر تبدیل‌های چندموجک ایجاد شده از دو تابع مقیاس و موجک استفاده می‌کنند [۲۳]. در چنین چندموجک‌هایی روابط (۱) و (۲) برای توابع مقیاس و موجک برقرار است.

$$\Phi(t) = [\Phi_1(t)\Phi_2(t)] \quad (1)$$

$$\Psi(t) = [\psi_1(t)\psi_2(t)]^T \quad (2)$$

در روابط بالا $\Phi(t)$ و $\psi(t)$ به ترتیب توابع چندمقیاسه و چندموجک نامیده می‌شوند. همانند موجک‌های اسکالر، معادله‌های (۳) و (۴) نیز باید در چندموجک‌ها برقرار باشد.

$$\Phi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} H_k \Phi(2t - k) \quad (3)$$

$$\Psi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} G_k \Psi(2t - k) \quad (4)$$

در روابط بالا $\{H_k\}$ و $\{G_k\}$ فیلترهای ماتریسی با اندازه 2×2 به‌صورت زیر هستند.

$$H_k = \begin{bmatrix} h_0(2k) & h_0(2k+1) \\ h_1(2k) & h_1(2k+1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$G_k = \begin{bmatrix} g_0(2k) & g_0(2k+1) \\ g_1(2k) & g_1(2k+1) \end{bmatrix} \quad (6)$$

در روابط (۵) و (۶)، $\{h_k(n)\}$ و $\{g_k(n)\}$ به ترتیب دنباله‌های فیلتری مقیاس و موجک هستند [۲۴].

۲-۱-۳ تبدیل موجک گسسته افزونه

DWT علی‌رغم داشتن مزیت‌های زیادی که دارد، معایبی نیز دارد. مهم‌ترین نقص آن ثابت نبودن انتقال در آن می‌باشد که RDWT برای غلبه بر این محدودیت طراحی شد. ثابت مکان^۱ در این تبدیل به‌وسیله حذف کاهنده‌ها و افزایش‌های نرخ فرکانس DWT و با افزایش ضرایب فیلتر با ضریب 2^{-1} در سطح زام الگوریتم به‌صورت رابطه (۷) بدست می‌آید. در نتیجه این تبدیل در مقابل انتقال ثابت می‌ماند، یعنی با تغییرات بسیار کوچک در تصویر، ضرایب موجک تغییر چندانی نخواهند کرد و از این رو استخراج نشانه دقیق صورت می‌گیرد. در هر سطح تجزیه در RDWT، تعداد ضرایب خروجی دو برابر تعداد ضرایب ورودی می‌شود. از این رو فیلترها خودشان به اندازه‌ای متناسب با داده‌های بزرگ‌شده، نرخ فرکانس را افزایش می‌دهند [۲۵].

$$h_j[k] = h_{j+1}[k] \uparrow 2 \quad \text{و} \quad g_j[k] = g_{j+1}[k] \uparrow 2 \quad (7)$$

معادلات (۸) و (۹) تجزیه RDWT و معادله (۱۰) فرمول بازنمایی RDWT می‌باشد که $h[-k]$ و $g[-k]$ به ترتیب فیلترهای تجزیه پایین‌گذر و بالاگذر هستند و $h[k]$ و $g[k]$ فیلترهای ترکیب پایین‌گذر و بالاگذر متناظر با آن‌ها می‌باشند [۲۶].

$$c_j[k] = (c_{j+1}[k] * h_j[-k]) \quad (8)$$

²Sparse

³Radon

⁴Continuous Ridgelet Transform

¹Shift invariant

با کنترل کامل بر ویژگی‌های نظری این تبدیل و بر اساس ویژگی‌هایی که برای کاربردهای خاص سازگار باشد، ایجاد کند.

تبدیل قیچک روی تصویر I یک نگاشت وابسته به

مقیاس ($a > 0$)، جهت (s) و مکان (x) به صورت زیر می‌باشد:

$$I \rightarrow SH_{\psi}I(a, s, x) \quad (13)$$

سیستم‌های افاین با اتساع‌های مرکب، مجموعه‌هایی به شکل زیر هستند:

$$\psi_{j,k,l}(x) = |\det A|^{j/2} \psi(S^k A^j x - l); j, k \in \mathbb{Z}, l \in \mathbb{Z}^2 \quad (14)$$

در رابطه (۱۴)، $\psi \in L^2(\mathbb{R}^2)$ ، A و S ماتریس‌های معکوس‌پذیر با اندازه‌های 2×2 بوده و به ترتیب دگرذیسی مقیاس و دگرذیسی‌های هندسی مانند دوران‌ها و قیچی^۴ را نمایش می‌دهند که به صورت رابطه (۱۵) نشان داده شده است. همچنین دترمینان ماتریس S مساوی یک است.

$$A = \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & \sqrt{a} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 1 & s \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

بنابراین تبدیل قیچک گسسته (DST) به شکل (۱۶) تعریف می‌شود: [۳۰].

$$SH\{\psi_{j,k,l} = 2^{\frac{3}{2}j} \psi(S_k A_{2j} - l); j, k \in \mathbb{Z}, l \in \mathbb{Z}^2 \quad (16)$$

۲-۲ BSVD

SVD روشی برای تجزیه ماتریسی مبتنی بر مقدار تکین می‌باشد که در انواع کاربردهای پردازش تصویر از آن استفاده می‌شود. SVD تصویر A با اندازه $M \times M$ به شکل رابطه (۱۶) است.

$$A = USV^T \quad (16)$$

در رابطه بالا، U و V ماتریس‌های متعامد هستند و $S = \text{diag}(\lambda_i)$ ماتریسی قطری از مقادیر تکین $\lambda_i, i=1, \dots, M$ است که به صورت نزولی مرتب شده‌اند. از ویژگی‌های SVD که سبب می‌شود از آن در نشانه‌گذاری رقومی استفاده شود، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: (۱) زمانی که یک اختلال کوچک به یک تصویر افزوده می‌شود، مقدار زیادی از مقادیر تکین آن تغییر نمی‌کند و (۲) مقادیر تکین، ویژگی‌های جبری اصلی تصویر را نمایش می‌دهند [۱۹].

BSVD نیز تجزیه طیفی محسوب می‌شود که بر اساس SVD ساخته می‌شود. این روش در واقع مقادیر ویژه مشابه با SVD را تولید می‌کند اما نحوه محاسبه این مقادیر در BSVD متفاوت است. تجزیه BSVD روی ماتریس A از دو مرحله زیر تشکیل شده است [۲۰]:

۱- دوقطری‌سازی ماتریس A که به صورت (۱۷) انجام می‌شود.

$$A = U_A \times B \times V_A^T \quad (17)$$

انتگرال‌پذیر $f(t)$ در فضای R^2 به صورت رابطه (۱۱) تعریف می‌شود.

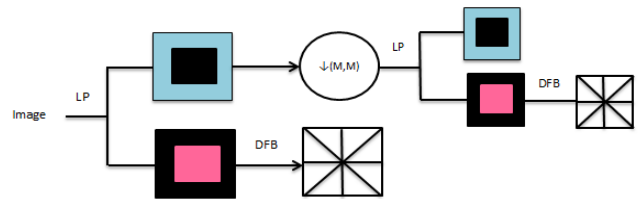
$$CRT_f(a, b, \theta) = \int_{\mathbb{R}^2} \psi_{a,b,\theta}(t) f(t) dt \quad (11)$$

تیغک‌های دوبعدی $\psi_{a,b,\theta}(t)$ بر اساس تابع موجک مانند یک بعدی $\psi(t)$ به شکل (۱۲) تعریف می‌شود [۲۹].

$$\psi_{a,b,\theta}(t) = a^{-1/2} \psi((t_1 \cos \theta + t_2 \sin \theta - b)/a) \quad (12)$$

۲-۱-۶ مرکز

تبدیل مرکز (CT) یک روش جدید تجزیه تصویر است که توسط دو ووترلی ارائه شد [۲۸]. این تبدیل نمایشی چندریزی منقطع را برای سیگنال‌های دوبعدی فراهم می‌کند. CT توسط دو بانک فیلتر ساخته می‌شود؛ یک هرم لاپلاسی^۵ (LP) که به دنبال آن یک بانک فیلتر جهتی^۶ (DFB) می‌آید. در CT، یک تصویر توسط LP به یک زیربانده فرکانس پایین و یک زیربانده فرکانس بالا تجزیه می‌شود و DFB زیربانده فرکانس بالای حاصل را به جهت‌های بسیاری تجزیه می‌کند. در نهایت، تصویر به شکل مجموعه‌ای از زیربانده‌های جهتی در مقیاس‌های چندتایی تجزیه می‌شود [۲۹]. ساختار شماتیک CT و فیلترهای ذکر شده در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۲ بانک‌های فیلتر تجزیه CT و تقسیم‌بندی فرکانسی حاصل از آن [۲۹]

۲-۱-۷ قیچک

در سال‌های اخیر نمایش قیچک به عنوان یکی از روش‌های موجک چندجهته معرفی شده است که ویژگی‌های تقریب بهینه را فراهم می‌کند. این نمایش جدید مبتنی بر چارچوب ریاضیاتی محکم و ساده است که نه تنها ابزاری منقطع نظری برای نمایش هندسی داده‌های چندبعدی فراهم می‌کند، بلکه برای پیاده‌سازی نیز طبیعی‌تر می‌باشد. همچنین روش قیچک به تحلیل چندریزی مرتبط می‌باشد. این چارچوب ریاضیاتی تبدیل قیچک اجازه توسعه دادن یک گذار ساده و دقیق را از نمایش پیوسته به گسسته می‌دهد. می‌توان تبدیل قیچک را به عنوان تطابقی ساده‌شده نظری برای تبدیل مرکز دانست. تبدیل قیچک روش بسیار منقطع‌تری را پیشنهاد می‌دهد و اجازه می‌دهد که هرکس پیاده‌سازی‌های خود را

^۱Contourlet Transform

^۲Laplacian Pyramid

^۳Directional Filter Bank

^۴Shear

$$A^{new} = U_A U_B S_W V_B^T V_A^T \quad (22)$$

A^{new} زیرباند تغییر یافته زیرباند انتخابی در مرحله (۲) می‌باشد.

(۵) در گام آخر، معکوس تبدیل حوزه موجک روی A^{new} اعمال می‌شود و تصویر نشانه‌گذاری شده P_W^* بدست می‌آید.

۳-۲ الگوریتم استخراج نشانه

برای بازیابی نشانه از تصویر نشانه‌گذاری شده گام‌های زیر انجام می‌شود.

(۱) تبدیل حوزه موجک به همان ترتیب رویه جاسازی، روی تصویر نشانه‌گذاری شده P_W^* اعمال می‌شود. به‌طور مشابه زیرباندها بدست می‌آیند و همان زیرباند استفاده شده در فرآیند جاسازی (A_W^*) انتخاب می‌شود.

(۲) تجزیه ماتریسی BSVD به شکل رابطه (۲۳) روی زیرباند انتخابی اعمال می‌شود.

$$A_W^* = U_A^* U_B^* S^* V_B^{*T} V_A^{*T} \quad (23)$$

(۳) متغیر D^* مطابق به رابطه (۲۴) محاسبه می‌شود.

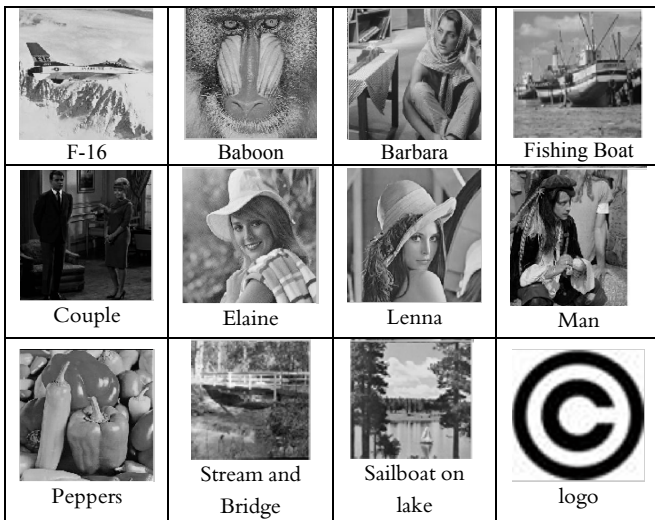
$$D^* = U_W S^* V_W^T \quad (24)$$

(۴) نشانه W^* طبق فرمول (۲۵) که عکس رابطه جاسازی نشانه است، به‌دست می‌آید.

$$W^* = (D^* - S^*)/\alpha \quad (25)$$

۴ پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج تجربی

چارچوب پیشنهادی این مقاله با استفاده از Matlab نسخه 2010a اجرا شده است. در تمامی آزمایش‌ها تصاویر میزبان یکسانی در نظر گرفته شده است. یازده تصویری که به‌عنوان تصاویر میزبان استفاده شده‌اند، تصاویر سطوح خاکستری با ویژگی‌های بافتی متمایز به نام‌های F-16، Baboon، Fishing Boat، Barbara، Couple، Elaine، Lenna، Man، Peppers، Stream and Bridge و Sailboat on lake می‌باشند.



شکل ۳ تصاویر سطوح خاکستری میزبان و تصویر نشانه

در معادله بالا، U_A ماتریسی متعامد $M \times N$ ، V_A ماتریس واحد $N \times N$ و B ماتریس بالا دوقطری اکید می‌باشد.

۲- اعمال SVD روی ماتریس B :

$$B = U_B \times S \times V_B^T \quad (18)$$

در رابطه (۱۸) U_B و V_B ماتریس‌های واحد، $S = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r)$ که در آن، σ_i ها مقادیر تکین ماتریس B هستند و $r = \min(M, N)$ که شرط $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r > 0$ در آن برقرار است.

بنابراین تجزیه ماتریس A توسط BSVD، با جایگذاری رابطه (۱۸) در رابطه (۱۷) بدست می‌آید و فرمول نهایی به صورت (۱۹) خواهد شد.

$$A = U_A \times U_B \times S \times V_B^T \times V_A^T \quad (19)$$

۳ چارچوب عمومی پیشنهادی

در این مقاله چارچوبی عمومی پیشنهاد شده است که فرمول جاسازی نشانه در آن براساس طرحی از لای در [۱۹] می‌باشد. در این روش یکی از تبدیل‌های حوزه موجک در ترکیب با روش تجزیه ماتریسی BSVD استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا تصویر میزبان توسط یکی از تبدیل‌های توسعه‌یافته موجک تجزیه شده و سپس BSVD روی یکی از زیرباندهای بدست آمده اعمال می‌گردد. پس از آن، نشانه در مقادیر تکین حاصل از BSVD جاسازی شده و روی نتیجه حاصل SVD اعمال می‌شود. در ادامه الگوریتم‌های جاسازی و استخراج این چارچوب عمومی آورده شده است.

۳-۱ الگوریتم جاسازی نشانه

مراحل جاسازی نشانه به صورت زیر می‌باشد:

(۱) تصویر میزبان مفروض P توسط یکی از تبدیل‌های حوزه موجک تجزیه می‌شود و در نتیجه تعدادی زیرباند بدست می‌آید.

(۲) یکی از زیرباندها (A) براساس روش سعی و خطای مبتنی بر نتایج، جهت درج نشانه انتخاب می‌شود. سپس BSVD روی این زیرباند به صورت رابطه (۲۰) اعمال می‌شود.

$$A = U_A U_B S V_B^T V_A^T \quad (20)$$

(۳) نشانه براساس فرمول (۲۱) در ماتریس قطری S که شامل مقادیر تکین است، جاسازی می‌شود. بلافاصله پس از آن، SVD روی نتیجه بدست آمده اعمال می‌شود.

$$S + \alpha W = U_W S_W V_W^T \quad (21)$$

در این رابطه، α فاکتور مقیاس است که نقش تنظیم‌کننده میان ویژگی‌های شفافیت و مقاومت دارد.

(۴) BSVD روی ماتریس S_W حاصل مرحله قبل، اجرا می‌شود و ضرایب جدید برای زیرباند به شکل فرمول (۲۲) بدست می‌آید.

۰/۸، ۱ و ۱/۱، اصلاح گاما (GC) با پارامترهای ۰/۸ و ۰/۹، متعادل سازی هیستوگرام (HE)، بلور حرکتی^۸ (MB) با پارامترهای طول و زاویه به صورت دوتایی های (۱۵ و ۲۰) و (۱۵ و ۴۵)، تیز کردن^۹ (SH) با پارامتر آلفای ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵، ۰/۸ و ۱، فشرده سازی JPEG با فاکتورهای ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۸۰ و ۹۰، برش دادن (CR) با درصدهای مختلف ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰، دوران (RO) با ۸ نوع درجه ۵، ۳۰، ۴۵، ۷۰، ۱۱۰، ۱۰، -۵۰ و -۸۰، مقیاس گذاری (SC) با مقیاس های متفاوت ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵، انتقال (TR) در راستای محورهای x و y به مختصات (۱۰ و ۱۰)، (۱۰ و ۲۰)، (۲۰ و ۳۵) و (۳۵ و ۴۵) و (۵۰ و ۵۰)، قیچی کردن^{۱۰} (SE) در راستای محورهای x و y با مختصات (۰/۲ و ۰/۲)، (۰/۲ و ۱)، (۱ و ۰/۳) و (۰/۳ و ۰/۱) و برگرداندن^{۱۱} (FL) افقی و عمودی. در جدول ۱، نام کامل این حمله ها در مقابل نام اختصاری آن ها آورده شده است.

جدول ۱: نام حمله های استفاده شده و نام اختصاری متناظرشان

نام اختصاری	نام حمله	نام اختصاری	نام حمله
GP	Gaussian Lowpass Filter	AF	Average Filtering
GN	Gaussian Noise	MF	Median Filter
SP	Salt&pepper Noise	SN	Speckle Noise
GC	Gamma Correction	BL	Blurring
MB	Motion Blur	HE	Histogram Equalization
JPEG	JPEG Compression	SH	Sharpening
RO	Rotation	CR	Crop
TR	Translation	SC	Scaling
FL	Flip	SE	Shearing

۴-۱ معیارهای ارزیابی

الگوریتم های نشانه گذاری بر اساس دو ویژگی شفافیت و مقاومت ارزیابی می شوند. شفافیت به این معنا است که درج نشانه در تصویر میزبان نباید سبب افت کیفی تصویر میزبان شود. این ویژگی را با معیار نرخ اوج سیگنال نویز^{۱۲} (PSNR) که درجه نامرئی بودن را نشان می دهد، اندازه می گیرند. این معیار از رابطه (۲۶) محاسبه می شود و واحد آن دسی بل می باشد [۲۶].

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{\max(x(i,j))^2}{MSE} \right] \quad (26)$$

^۸Motion Blur

^۹Sharpening

^{۱۰}Shearing

^{۱۱}Flip

^{۱۲}Peak Signal to Noise Ratio

این تصاویر انتخاب شده، مجموعه ای از تصاویری هستند که در بیشتر کارهای انجام گرفته در این حوزه استفاده شده اند. این تصاویر از پایگاه داده تصویری USC-SIPI [۳۱] گرفته شده اند و در اندازه ۲۵۶×۲۵۶ می باشند. نشانه استفاده شده نیز یک تصویر سطح خاکستری به نام logo با اندازه ۲۵۶×۲۵۶ می باشد. این تصاویر به ترتیب در شکل (۲) نشان داده شده است.

انواع مختلف و وسیعی از حمله ها در نشانه گذاری وجود دارد که می توان آن ها را به چهار گروه حمله های حذفی، هندسی، پنهانی و پروتکلی تقسیم بندی کرد [۳۲]. حمله های حذفی قصد حذف کامل نشانه از داده میزبان را دارند که حمله هایی مانند فشرده سازی و برخی اعمال پردازش تصویر از جمله فیلترها از این نوع می باشند. حمله های هندسی قصد اعوجاج نشانه جاسازی شده را با استفاده از تغییرات فضایی یا زمانی را دارند. حمله های هندسی شامل حمله هایی مانند انتقال ها، مقیاس بندی و دوران می باشد. حمله های پنهانی با روش های امنیتی در طرح های نشانه گذاری رخنه کرده و سعی در یافتن راهی برای حذف نشانه درج شده یا درج نشانه های گمراه کننده دارند. حمله های پروتکلی سعی می کنند به مفهوم کاربرد نشانه گذاری حمله کنند. یعنی پروتکلی در چارچوب نشانه معکوس پذیر معرفی شده است. یعنی برای کاربرد "محافظت از حق نشر" نشانه ها باید معکوس ناپذیر باشند. لازمه اینکه یک روش نشانه گذاری معکوس ناپذیر باشد، این است که نمی توان نشانه را از یک داده نشانه گذاری نشده استخراج کرد [۳۲]. حمله های پنهانی و پروتکلی مرتبط با مفهوم نشانه گذاری هستند و برای هر کاربرد خاص مانند "حفظ حق نشر" باید آن ها را بررسی کرد. در روش های عمومی که مختص یک کاربرد مشخص نیستند، این نوع حمله ها ارزیابی نمی شوند.

هریک از تصاویر نشانه گذاری شده حاصل از چارچوب پیشنهادی، تحت حمله های مختلف از جمله حمله های پردازش تصویری و هندسی قرار گرفته و مقاومت آن ها در برابر این حمله ها ارزیابی می شود. انواع حمله های استفاده شده در این پژوهش عبارتند از: فیلتر میانگین^۱ (AF) با اندازه پنجره های ۳×۳، ۵×۵ و ۱۰×۱۰، فیلتر پایین گذر گاوسی^۲ (GP) با اندازه پنجره های ۳×۳ و ۵×۵، فیلتر میانه^۳ (MF) با اندازه پنجره های ۲×۲، ۳×۳، ۴×۴ و ۵×۵ و نویز گاوسی^۴ (GN) با میانگین و واریانس به شکل زوج مرتب های (۰/۰۰۵ و ۰)، (۰/۰۰۵ و ۰)، (۰/۰۱ و ۰)، (۰/۰۶ و ۰)، (۰/۱ و ۰) و (۰/۳ و ۰)، نویز نقطه ای^۵ (SN) با واریانس های ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۰۴، ۰/۱ و ۰/۵، نویز نمک و فلفل^۶ (SP)، محو کردن^۷ (BL) با پارامترهای ۰/۲، ۰/۵،

^۱Average Filter

^۲Gaussian Lowpass Filter

^۳Median Filter

^۴Gaussian Noise

^۵Speckle Noise

^۶Salt & pepper Noise

^۷Blurring

در رابطه بالا، مقدار پیکسل تصویر و میانگین مربعات خطا^۱ می‌باشد که از معادله (۲۷) بدست می‌آید.

$$MSE = \frac{1}{m * n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [x(i,j) - y(i,j)]^2 \quad (27)$$

در رابطه بالا، $x(i,j)$ و $y(i,j)$ مقدار پیکسل‌های تصویر می‌باشند. رایج‌ترین معیار برای شفافیت PSNR می‌باشد که محاسبات ساده‌ای دارد اما تطابق خوبی با HVS ندارد. برای مثال ممکن است دو تصویر مخدوش که MSE‌های یکسانی دارند، خطاهای مختلفی داشته باشند. در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری برای بهبود این معیارها انجام گرفته است. یکی از این معیارها که براساس شباهت ساختاری تصاویر است، شاخص شباهت ساختاری (SSIM) می‌باشد. این معیار، روشنایی و کنتراست دو تصویر را در بلوک‌های متناظر آن‌ها باهم مقایسه می‌کند. با فرض x و y به بلوک‌های محلی متناظر در دو تصویر X و Y ، تابع مقایسه روشنایی $l(x,y)$ به صورت معادله (۲۸)، تابع مقایسه کنتراست $c(x,y)$ به صورت معادله (۲۹) و تابع مقایسه ساختار $s(x,y)$ به شکل معادله (۳۰) تعریف می‌گردند.

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (31)$$

در رابطه (۳۱)، M تعداد بلوک‌های محلی تصویر را نشان می‌دهد که به صورت پیکسل به پیکسل روی تصویر جابه‌جا می‌شوند و x_i و y_i بلوک محلی i ام در هر یک از تصاویر X و Y می‌باشند. بیش‌ترین مقدار این شاخص در صورت یکسان بودن دو تصویر حاصل می‌شود که برابر یک می‌باشد [۳۳].

جدول ۳: مقادیر بدست آمده برای روش پیشنهادی عمومی

روش	F-16	barbara	fishing boat	couple	elaine	peppers	stream&bridge	sailboat on lake
DWT-BSVD	۰/۹۹۷	۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۳	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸
WPD-BSVD	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	۰/۹۹۴	۰/۹۹۶	۰/۹۹۷	۰/۹۸۹	۰/۹۹۶	۰/۹۹۸
RDWT-BSVD	۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	۰/۹۹۸	۰/۹۹۰	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
MWT-BSVD	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
CT-BSVD	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۹۵	۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
Ridgelet-BSVD	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۶	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
DST-BSVD	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	۰/۹۹۰	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸

طرح‌های نشانه‌گذاری علاوه بر شفاف بودن، باید در برابر انواع حمله‌ها نیز مقاوم باشند. برای تعیین میزان مقاومت، بیش‌تر مقاله‌ها از معیار همبستگی متقاطع نرمال شده^۲ (NC) استفاده می‌کنند که نشان‌دهنده میزان شباهت میان تصاویر نشانه اصلی و نشانه استخراج شده از تصویر نشانه‌گذاری شده است که از رابطه (۳۳) بدست می‌آید [۲۶].

جدول ۲: مقادیر PSNR بدست آمده برای روش پیشنهادی عمومی

روش	F-16	barbara	fishing boat	couple	elaine	peppers	stream & bridge	sailboat on lake
DWT-BSVD	۶۶/۶۵	۶۷/۵۱	۶۶/۶۴	۶۴/۷۴	۶۷/۲۲	۶۶/۰۷	۷۱/۴۱	۶۸/۸۷
WPD-BSVD	۴۷/۸۹	۴۷/۹۵	۴۷/۹۲	۴۸/۱۶	۴۷/۹۶	۴۷/۹۷	۴۸/۰۸	۴۸/۰۵
RDWT-BSVD	۶۳/۶۸	۶۳/۰۷	۶۴/۳۵	۶۰/۹۳	۶۲/۵۲	۶۲/۹۲	۶۸/۳	۶۵/۷۳
MWT-BSVD	۶۶/۷۷	۶۶/۲۱	۶۶/۷۳	۶۲/۰۳	۶۵/۲۴	۶۵/۱	۷۴/۶۵	۶۹/۹۷
CT-BSVD	۶۸/۹۱	۶۸/۲	۷۰/۶۴	۶۴/۷	۶۳/۴۴	۶۶/۲۶	۷۶/۸	۷۳/۷۹
Ridgelet-BSVD	۶۶/۷۹	۶۶/۳۴	۶۶/۳۹	۶۵/۳۴	۶۶/۲۸	۶۶/۶۹	۶۷/۲۸	۶۷/۱۱
DST-BSVD	۶۶/۳۲	۶۶/۹۵	۶۶/۹۸	۶۴/۱۹	۶۵/۰۳	۶۶/۹۵	۶۷/۵۸	۶۷/۱۴

$$l(x,y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (28)$$

$$c(x,y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (29)$$

$$s(x,y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (30)$$

C_1 ، C_2 و C_3 ثابت‌هایی هستند که بهنگام کوچک بودن مخرج کسر از ناپایداری جلوگیری می‌کنند. μ_x و μ_y مقادیر میانگین بلوک‌های x و y هستند، σ_x^2 و σ_y^2 واریانس و σ_{xy} کوواریانس میان

^۱Mean Square Error

^۲Structural Similarity

^۳Normalized cross Correlation

$$(2 \times (2 \times 2^1 + 1)) + (2 \times (2 \times 2^1 + 1)) + (2 \times (2 \times 2^2 + 1)) = 38$$

قیچک تولید خواهد کرد.

جدول ۴: مقادیر NC برای حمله‌های مختلف روی تصاویر نشانه‌گذاری شده روش DWT-BSVD با $\alpha=0.015$

حمله	baboon	barbara	fishing boat	elaine	lenna	peppers	stream&bridge	حمله	baboon	barbara	fishing boat	elaine	lenna	peppers	stream&bridge
AF 3×3	۸۹	۹۲	۹۱	۹۱	۹۱	۹۲	۹۰	BL 0.2	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
AF 5×5	۷۳	۷۷	۷۷	۷۹	۷۷	۷۸	۷۶	BL 0.5	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
AF 10×10	۵۰	۵۴	۵۳	۵۵	۵۳	۵۴	۵۳	BL 0.8	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷
GP 3×3	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	BL 1	۹۴	۹۵	۹۶	۹۵	۹۶	۹۵	۹۴
GP 5×5	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	BL 1.1	۹۴	۹۵	۹۵	۹۴	۹۵	۹۵	۹۴
MF 2×2	۹۶	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	GC 0.8	۸۳	۷۹	۶۰	۱۷	۵۹	۸۴	۵۰
MF 3×3	۹۲	۹۶	۹۵	۹۶	۹۶	۹۶	۹۴	GC 0.9	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	۹۷	۹۸	۹۷
MF 4×4	۸۵	۹۳	۸۹	۹۴	۹۳	۹۴	۸۸	HE	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	۹۶	۹۷	۹۶
MF 5×5	۷۹	۹۱	۸۴	۹۳	۹۲	۹۲	۸۴	MB(15,20)	۷۶	۷۲	۷۳	۷۵	۷۵	۷۱	۷۴
MF 10×10	۵۸	۸۳	۶۷	۸۷	۸۴	۸۴	۶۸	MB(15,45)	۸۴	۸۴	۸۹	۸۵	۸۲	۸۴	۸۰
CR 30%	۷۰	۶۳	۷۷	۸۴	۷۷	۷۳	۷۷	SH 0.1	۹۶	۹۷	۹۷	۹۶	۹۶	۹۷	۹۴
CR 50%	۸۵	۸۸	۹۰	۹۴	۹۳	۸۷	۹۱	SH 0.2	۹۶	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	۹۷	۹۴
CR 70%	۹۶	۹۴	۹۷	۹۷	۹۸	۹۲	۹۷	SH 0.5	۹۶	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	۹۷	۹۴
CR 90%	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۹۸	SH 0.8	۹۶	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۴
RO 5°	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	SH 1	۹۶	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۵
RO 30°	۹۲	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۵	JPEG Q=5	۹۴	۹۵	۹۴	۹۰	۹۳	۹۴	۹۳
RO 45°	۹۳	۹۷	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۵	JPEG Q=10	۹۸	۹۸	۹۸	۹۶	۹۸	۹۸	۹۸
RO 70°	۹۳	۹۷	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	JPEG Q=20	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸
RO 110°	۹۳	۹۷	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۵	JPEG Q=30	۹۹	۹۹	۹۹	۹۸	۹۹	۹۹	۹۸
RO -10°	۹۵	۹۸	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۷	JPEG Q=80	۹۸	۹۹	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
RO -50°	۹۲	۹۷	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۵	JPEG Q=90	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸
RO -80°	۹۵	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	GN(0,0.005)	۹۸	۹۷	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸
SC 0.25	۶۹	۷۳	۷۳	۷۵	۷۲	۷۳	۷۲	GN(0,0.001)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
SC 0.5	۹۲	۹۴	۹۴	۹۳	۹۴	۹۴	۹۳	GN(0,0.01)	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷
SC 0.75	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	GN(0,0.06)	۹۸	۹۷	۹۷	۹۶	۹۶	۹۶	۹۵
SC 1.25	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	GN(0,0.1)	۹۳	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۳
SC 1.5	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	GN(0,0.3)	۸۹	۸۸	۸۹	۸۸	۸۸	۸۸	۸۹
TR(10,10)	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۸	SN 0.005	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
TR(10,20)	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	SN 0.001	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
TR(20,35)	۹۶	۹۵	۹۵	۹۵	۹۴	۹۵	۹۶	SN 0.01	۹۷	۹۶	۹۶	۹۵	۹۶	۹۶	۹۸
TR(35,45)	۹۳	۹۳	۹۳	۹۳	۹۲	۹۳	۹۴	SN 0.1	۹۷	۹۶	۹۶	۹۵	۹۶	۹۶	۹۷
TR(50,50)	۸۹	۹۱	۹۰	۹۱	۹۰	۹۱	۹۱	SN 0.5	۹۲	۹۳	۹۲	۹۰	۹۱	۹۲	۹۲
SE(0.2,0.2)	۹۲	۹۸	۹۷	۹۸	۹۷	۹۸	۹۵	SP 0.005	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
SE(1,0.2)	۸۹	۹۵	۹۶	۹۶	۹۶	۹۷	۹۴	SP 0.001	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷
SE(0.2,1)	۸۹	۹۶	۹۶	۹۵	۹۶	۹۷	۹۴	SP 0.01	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
SE(0.3,0.1)	۹۲	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۵	SP 0.04	۹۸	۹۶	۹۷	۹۶	۹۷	۹۶	۹۷
FL horizontal	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	SP 0.1	۹۶	۹۵	۹۵	۹۴	۹۵	۹۵	۹۶
FL vertical	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	SP 0.5	۸۸	۸۷	۸۷	۸۶	۸۷	۸۷	۸۹
RoSc(2,0.5)	۹۰	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۲	RoCr(2,30)	۷۷	۷۱	۷۹	۸۵	۷۸	۶۲	۷۰
RoSc(5,0.5)	۸۹	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۲	RoCr(5,30)	۷۹	۷۲	۸۱	۸۴	۸۱	۶۱	۷۱
RoScCr(2,0.5,30)	۵۳	۵۰	۵۶	۵۵	۵۶	۴۶	۵۶	RoScCr(5,0.5,30)	۵۸	۵۱	۵۱	۵۸	۵۹	۵۳	۵۴

(۳۳)

$$NC(w, w') = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [w(i, j) - \mu_w][w'(i, j) - \mu_{w'}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [w(i, j) - \mu_w]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [w'(i, j) - \mu_{w'}]^2}}$$

در رابطه بالا، w و w' به ترتیب نشانه اصلی و نشانه استخراج شده می‌باشند و μ_w و $\mu_{w'}$ به ترتیب میانگین نشانه‌های اصلی و استخراج شده هستند.

۲-۴ پارامترهای پیاده‌سازی

در روش پیشنهادی عمومی، گام‌های جاسازی و استخراج براساس یک قالب کلی و مستقل از نوع موجک ارائه شد. در واقع این چارچوب را می‌توان به‌ازای انواع تبدیل‌های موجک اجرا کرد. در این مقاله از میان انواع تبدیل‌های توسعه‌یافته موجک، تبدیل‌های DWT، WPD، RDWT، MWT، DST، مرزک و تیغک را در ترکیب با BSVVD بررسی کرده و نتایج شفافیت و مقاومت این روش‌ها به‌ازای حمله‌های مختلف آورده شده است.

در روش DWT-BSVD از DWT یک‌سطحی با فیلتر haar، در روش WPD-BSVD از WPD با فیلتر debauchie1، در روش RDWT-BSVD از RDWT یک‌سطحی، فیلتر debauchie2، در روش MWT-BSVD از MWT برداری شده توسط روش پیش‌پردازش تکرار سطر استفاده شده است. در روش CT-BSVD پیاده‌سازی تبدیل مرزک از جعبه‌ابزاری که برای تبدیل‌های چندمقیاسه در [۳۴] معرفی شده، استفاده شده است. در این تبدیل، تعداد سطوح تجزیه یعنی متغیر nlevs، را [0,2] در نظر گرفته و از میان انواع فیلترها، 'pkva' برای فیلترهای LP و DFB تنظیم شده است. پارامتر nlevs در این جعبه‌ابزار، برداری از اعداد است که سطوح تجزیه بانک‌های فیلتری جهت را مشخص می‌کند. تبدیل تیغک نیز با جعبه‌ابزاری که در [۳۴] ارائه شده برای تجزیه تصاویر بهره گرفته شده است. در پیاده‌سازی روش از تیغک دوسطحی با فیلتر haar استفاده شده است. برای پیاده‌سازی DST از کتابخانه موجود در ShearLab 3D [۳۵] استفاده شده است. این کتابخانه در محیط Matlab ایجاد شده است و برای پردازش داده‌های دو و سه‌بعدی با استفاده از قیچک‌ها می‌باشد. برای اعمال DST به یک تصویر، باید پارامترهای تعداد سطر و ستون‌های تصویر، nScales و shearLevels را مشخص کرد. پارامتر nScales تعداد مقیاس‌های قیچک را تعیین می‌کند. shearLevels یک آرایه به طول (1×nScales) می‌باشد که سطح قیچی‌کردن در هر مقیاس را مشخص می‌کند. هر ورودی shearLevels باید بزرگتر مساوی صفر باشد. یک سطح قیچی با اندازه k به معنی تولید قیچکی است که 2^k مرتبه در هر جهت و برای هر مخروط، قیچی شده است. برای مثال، اگر nScales=3 و shearLevels=[1,1,2] باشد، آنگاه سیستم قیچک به تعداد

جدول ۵: مقادیر NC برای حملات مختلف روی میزبان نشانه‌گذاری شده
روش WPD-BSVD با $\alpha=0.02$

حمله	baboon	barbara	fishing boat	elaine	lenna	peppers	Stream & bridge	حمله	baboon	barbara	fishing boat	elaine	lenna	peppers	Stream & bridge
AF 3×3	۹۰	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۳	۹۱	BL 0.2	۹۱	۹۳	۹۳	۹۳	۹۳	۹۳	۹۹
AF 5×5	۷۵	۸۰	۷۸	۸۱	۷۹	۸۱	۷۹	BL 0.5	۷۹	۸۱	۷۹	۸۱	۷۹	۸۱	۹۹
AF 10×10	۵۲	۵۵	۵۴	۵۶	۵۵	۵۵	۵۵	BL 0.8	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۹۷
GP 3×3	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	BL 1	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۵
GP 5×5	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	BL 1.1	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۴
MF 2×2	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	GC 0.8	۹۶	۹۷	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۸۳
MF 3×3	۹۳	۹۶	۹۵	۹۶	۹۶	۹۶	۹۴	GC 0.9	۹۴	۹۷	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۸
MF 4×4	۸۶	۹۴	۸۹	۹۵	۹۴	۹۴	۸۹	HE	۸۹	۹۴	۹۴	۹۵	۹۴	۹۴	۹۷
MF 5×5	۸۰	۹۲	۸۵	۹۴	۹۲	۹۲	۸۵	MB(15,20)	۸۵	۹۳	۹۲	۹۴	۹۲	۹۲	۷۷
MF 10×10	۶۰	۸۵	۶۸	۸۸	۸۵	۸۵	۶۹	MB(15,45)	۶۹	۸۶	۸۵	۸۸	۸۵	۸۵	۸۵
CR 30%	۷۲	۶۵	۷۹	۸۵	۷۹	۷۹	۷۸	SH 0.1	۷۸	۷۵	۷۹	۸۵	۷۹	۷۹	۹۶
CR 50%	۸۶	۸۸	۹۰	۹۴	۹۴	۹۴	۹۲	SH 0.2	۹۲	۸۸	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۶
CR 70%	۹۶	۹۴	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	SH 0.5	۹۷	۹۳	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷
CR 90%	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	SH 0.8	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۹۶
RO 5°	۹۷	۹۸	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	SH 1	۹۷	۹۸	۹۹	۹۷	۹۸	۹۷	۹۷
RO 30°	۹۲	۹۷	۹۶	۹۷	۹۶	۹۷	۹۴	JPEG Q=5	۹۴	۹۸	۹۸	۹۷	۹۶	۹۷	۹۴
RO 45°	۹۲	۹۷	۹۶	۹۷	۹۶	۹۷	۹۴	JPEG Q=10	۹۴	۹۷	۹۶	۹۷	۹۶	۹۷	۹۸
RO 70°	۹۳	۹۸	۹۶	۹۷	۹۶	۹۷	۹۶	JPEG Q=20	۹۶	۹۸	۹۸	۹۷	۹۶	۹۷	۹۸
RO 110°	۹۳	۹۷	۹۶	۹۷	۹۶	۹۷	۹۵	JPEG Q=30	۹۵	۹۸	۹۷	۹۷	۹۶	۹۷	۹۹
RO -10°	۹۶	۹۹	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	JPEG Q=80	۹۷	۹۸	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۸
RO -50°	۹۲	۹۸	۹۶	۹۷	۹۶	۹۷	۹۵	JPEG Q=90	۹۵	۹۷	۹۸	۹۷	۹۶	۹۷	۹۹
RO -80°	۹۵	۹۸	۹۷	۹۸	۹۷	۹۸	۹۷	GN(0,0.005)	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸
SC 0.25	۷۱	۷۶	۷۴	۷۸	۷۵	۷۶	۷۴	GN(0,0.001)	۷۴	۷۶	۷۵	۷۸	۷۶	۷۶	۹۹
SC 0.5	۹۲	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۳	GN(0,0.01)	۹۳	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۸
SC 0.75	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	GN(0,0.06)	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۵
SC 1.25	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	GN(0,0.1)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸	۹۸	۹۴
SC 1.5	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	GN(0,0.3)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸	۹۸	۸۹
TR(10,10)	۹۸	۹۷	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	SN 0.005	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۹
TR(10,20)	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	SN 0.001	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۹
TR(20,35)	۹۶	۹۶	۹۵	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	SN 0.01	۹۶	۹۶	۹۵	۹۶	۹۶	۹۶	۹۸
TR(35,45)	۹۴	۹۳	۹۳	۹۴	۹۳	۹۳	۹۴	SN 0.1	۹۴	۹۴	۹۳	۹۴	۹۳	۹۳	۹۷
TR(50,50)	۹۱	۹۱	۹۱	۹۱	۹۱	۹۱	۹۲	SN 0.5	۹۲	۹۲	۹۱	۹۱	۹۱	۹۱	۹۲
SE(0.2,0.2)	۹۳	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	SP 0.005	۹۶	۹۷	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۸
SE(1,0.2)	۸۹	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۴	SP 0.001	۹۴	۹۶	۹۷	۹۶	۹۶	۹۶	۹۹
SE(0.2,1)	۸۹	۹۶	۹۵	۹۶	۹۶	۹۶	۹۴	SP 0.01	۹۴	۹۶	۹۷	۹۶	۹۶	۹۶	۹۸
SE(0.3,0.1)	۹۲	۹۷	۹۶	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	SP 0.04	۹۶	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	۹۷	۹۸
FL horizontal	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	SP 0.1	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۶
FL vertical	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	SP 0.5	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۸۸
RoSc(2,0.5)	۹۰	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۲	RoCr(2,30)	۹۲	۹۴	۹۵	۹۴	۹۴	۹۴	۷۹
RoSc(5,0.5)	۹۰	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۲	RoCr(5,30)	۹۲	۹۴	۹۵	۹۴	۹۴	۹۴	۸۰
RoScCr(2,0.5,30)	۵۵	۵۸	۵۷	۵۷	۵۷	۵۷	۵۸	RoScCr(5,0.5,30)	۵۸	۴۹	۴۶	۵۷	۵۸	۵۰	۶۲

همان‌طور که در فرمول‌های جاسازی و استخراج نشانه (روابط ۲۱ و ۲۵) دیده شد، از متغیر α برای نشان‌دادن ضریب مقیاس استفاده شد و در آزمایش‌های صورت‌گرفته در این مقاله، مقدار این متغیر برای هر یک از روش‌ها با استفاده از روش سعی‌وخطا بدست آمده است. روند کار بدین شکل می‌باشد که ابتدا این متغیر با مقدار دلخواهی مقداردهی اولیه می‌شود. سپس فرآیند جاسازی و استخراج به‌ازای این مقدار اولیه اجرا شده و دو معیار مقاومت و شفافیت چارچوب پیشنهادی اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به مقادیر بدست‌آمده برای شفافیت و مقاومت، مقدار α به‌منظور دست‌یافتن به مقادیر مناسب شفافیت و مقاومت، به‌تدریج از مقدار اولیه تغییر داده می‌شود و در هر مرحله تغییر اندازه α ، این دو معیار دوباره محاسبه می‌شوند. این تغییر مقدار آهسته α تا جایی تکرار می‌شود که به مقادیر مناسب و موردنظر برای شفافیت و مقاومت دست یابیم. از این‌رو مقدار ضریب مقیاس در این مقاله برای روش‌های مختلف چارچوب پیشنهادی مطابق این روش سعی‌وخطا بدست آمده است. برای مثال در روش DST-BSVD مقدار ضریب مقیاس $0.04/0$ ، روش CT-BSVD مقدار $0.1/0$ و برای روش DWT-BSVD مقدار $0.15/0$ بدست آمده است.

۴-۳ نتایج تجربی و مقایسه

در این بخش نتایج شفافیت و مقاومت روش پیشنهادی عمومی طبق آزمایش‌های انجام‌گرفته ارائه شده‌اند. نتایج شفافیت همه روش‌ها به‌ازای تصاویر میزبان در قالب جداول (۱) و (۲) و براساس معیارهای PSNR و MSSIM نشان داده شده است.

نتایج جدول (۲) نشان‌دهنده بالا بودن شفافیت روش‌ها می‌باشد و مقدار PSNR بدست‌آمده از این روش‌ها بدون در نظر گرفتن نتایج روش WPD-BSVD، در بازه $[79/96]$ و $[6/93]$ قرار می‌گیرد. در توجیه کمتر بودن مقدار PSNR روش WPD-BSVD نسبت به سایر روش‌ها می‌توان گفت که در WPD تبدیل موجک استاندارد ممکن است بهترین نتیجه را ایجاد نکند، چراکه به پایه‌های موجکی محدود هستند که در فرکانس‌های پایین با توان ۲ افزایش می‌یابند. ممکن است ترکیب دیگری از پایه‌ها نمایش بهتری برای یک سیگنال معین ایجاد کند که این پایه‌ها با استفاده از توابع هزینه‌ای مانند آنتروپی بدست می‌آیند. همچنین موجک‌های چندجهته نسبت به موجک‌های سنتی شفافیت بیشتری دارند. در جدول (۳) شفافیت این روش‌ها برحسب معیار MSSIM نیز آورده شده است. بیش‌تر مقادیر MSSIM بدست‌آمده از روش‌ها مقدار یک و سایر سلول‌های جدول مقدار $0.99/0$ که بسیار نزدیک به یک است را دارند که این نتایج حاکی از شفافیت بالای این روش‌ها است. با توجه به دو معیار PSNR و MSSIM در مجموع می‌توان روش‌های چارچوب عمومی را جزو روش‌های با شفافیت بالا به حساب آورد.

جدول ۶: مقادیر NC برای حملات مختلف روی تصاویر نشانه‌گذاری شده
روش RDWT-BSVD با $\alpha=0.02$

حمله	baboon	barbara	fishing boat	elaine	lenna	peppers	Stream & bridge	حمله	baboon	barbara	fishing boat	elaine	lenna	peppers	Stream & bridge
AF 3×3	۷۹	۸۸	۸۷	۸۷	۸۸	۸۹	۸۱	BL 0.2	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
AF 5×5	۵۷	۶۵	۶۴	۶۷	۶۴	۶۷	۶۰	BL 0.5	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
AF 10×10	۳۷	۴۲	۴۲	۴۳	۴۱	۴۲	۳۸	BL 0.8	۹۶	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
GP 3×3	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	BL 1	۹۱	۹۵	۹۵	۹۴	۹۵	۹۵	۹۰
GP 5×5	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	BL 1.1	۸۹	۹۴	۹۳	۹۲	۹۳	۹۴	۸۷
MF 2×2	۹۵	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۸	۹۵	GC 0.8	۸۶	۸۲	۶۴	۱۴	۵۱	۸۹	۶۰
MF 3×3	۸۶	۹۵	۹۴	۹۵	۹۴	۹۶	۸۹	GC 0.9	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸	۹۸
MF 4×4	۷۴	۹۱	۸۵	۹۲	۹۲	۹۲	۸۰	HE	۹۸	۹۸	۹۷	۹۶	۹۸	۹۶	۹۶
MF 5×5	۶۶	۸۸	۷۸	۷۸	۷۸	۷۸	۷۴	MB(15,20)	۶۳	۶۵	۶۳	۶۶	۶۵	۶۱	۶۱
MF 10×10	۴۴	۷۹	۵۷	۸۴	۷۹	۷۹	۵۳	MB(15,45)	۷۹	۸۰	۸۶	۷۹	۷۸	۷۹	۷۳
CR 30%	۵۲	۵۴	۶۱	۷۴	۶۰	۶۰	۵۹	SH 0.1	۹۶	۹۷	۹۷	۹۶	۹۷	۹۷	۹۶
CR 50%	۷۴	۸۸	۸۵	۹۲	۹۰	۸۴	۸۴	SH 0.2	۹۶	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶
CR 70%	۹۵	۹۴	۹۶	۹۷	۹۸	۹۷	۹۵	SH 0.5	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶
CR 90%	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	SH 0.8	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶
RO 5°	۹۷	۹۹	۹۹	۹۸	۹۹	۹۹	۹۸	SH 1	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶
RO 30°	۹۲	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۴	JPEG Q=5	۸۱	۹۴	۹۱	۸۷	۸۹	۹۲	۸۰
RO 45°	۹۲	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۳	JPEG Q=10	۹۳	۹۷	۹۷	۹۴	۹۷	۹۷	۹۳
RO 70°	۹۴	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۶	JPEG Q=20	۹۶	۹۸	۹۸	۹۶	۹۸	۹۸	۹۷
RO 110°	۹۴	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۵	JPEG Q=30	۹۸	۹۹	۹۹	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹
RO -10°	۹۶	۹۹	۹۹	۹۸	۹۹	۹۹	۹۷	JPEG Q=80	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
RO -50°	۹۳	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۴	JPEG Q=90	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
RO -80°	۹۶	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	GN(0,0.005)	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
SC 0.25	۴۹	۵۷	۵۶	۶۰	۵۶	۵۸	۵۲	GN(0,0.001)	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
SC 0.5	۷۹	۸۹	۸۸	۸۹	۸۹	۸۹	۸۱	GN(0,0.01)	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۸
SC 0.75	۹۴	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۵	GN(0,0.06)	۹۶	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۶
SC 1.25	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	GN(0,0.1)	۹۴	۹۳	۹۳	۹۳	۹۳	۹۳	۹۴
SC 1.5	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	GN(0,0.3)	۹۲	۹۰	۹۰	۹۰	۹۱	۹۰	۹۳
TR(10,10)	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	SN 0.005	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
TR(10,20)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	SN 0.001	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
TR(20,35)	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	SN 0.01	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹
TR(35,45)	۹۴	۹۵	۹۵	۹۶	۹۶	۹۶	۹۵	SN 0.1	۹۷	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۷
TR(50,50)	۹۲	۹۴	۹۳	۹۵	۹۴	۹۴	۹۳	SN 0.5	۹۷	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۷
SE(0.2,0.2)	۹۲	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۵	SP 0.005	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
SE(1,0.2)	۸۸	۹۷	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۴	SP 0.001	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
SE(0.2,1)	۸۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۴	SP 0.01	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹
SE(0.3,0.1)	۹۲	۹۸	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۴	SP 0.04	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
FL horizontal	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	SP 0.1	۹۷	۹۵	۹۵	۹۶	۹۵	۹۶	۹۷
FL vertical	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	SP 0.5	۹۱	۸۹	۸۸	۸۸	۹۰	۸۹	۹۲
RoSc(2,0.5)	۸۱	۹۲	۹۱	۹۱	۹۱	۹۱	۸۴	RoCr(2,30)	۶۱	۵۹	۶۴	۷۷	۶۴	۵۴	۵۳
RoSc(5,0.5)	۸۰	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۸۴	RoCr(5,30)	۶۳	۶۰	۶۹	۷۶	۶۸	۵۴	۵۶
RoScCr(2,0.5,30)	۳۵	۳۹	۴۲	۴۲	۴۲	۳۶	۳۸	RoScCr(5,0.5,30)	۴۰	۴۰	۳۸	۴۴	۴۵	۴۱	۳۷

مقاومت روش‌های پیشنهادی برحسب NC در جدول‌های (۴) تا (۱۰) به‌ازای تصاویر مختلف آورده شده است. مقادیر NC در این جداول تا دو رقم اعشار گرد شده و در عدد صد ضرب شده‌اند. بنابراین برای بدست آوردن مقادیر واقعی، مقادیر درج شده در جدول باید در عدد 10^{-2} ضرب شوند. طبق جدول (۴)، روش DWT-BSVD در برابر حمله‌های فیلترپایین‌گذر گاوسی، دوران، مقیاس‌گذاری با پارامترهای ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵، انتقال، محوکردن با پارامترهای ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۸، فشردگی، نوپه‌سازی، نوپه‌های گاوسی، نقطه‌ای و نمک‌وفلفل مقاومت خوبی دارد و در حمله‌هایی مانند بلور حرکتی و اصلاح گاما با پارامتر ۰/۸ ضعیف‌تر است.

روش WPD-BSVD در برابر حمله‌هایی همچون فیلتر پایین‌گذر گاوسی، مقیاس‌گذاری، محوکردن با پارامترهای ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۸، فشردگی، نوپه‌های نقطه‌ای و نمک‌وفلفل مقاوم است و در حمله‌های فیلتر میانه، برش، دوران، انتقال، قیچی‌کردن، تیزکردن، نوپه‌سازی تقریباً مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد. همچنین در حمله‌هایی مانند فیلتر میانگین، برش‌های ۵۰، ۳۰ و ۷۰ و بلور حرکتی چندان قوی نیست.

روش RDWT-BSVD در برابر حمله‌هایی مانند فیلتر پایین‌گذر گاوسی، دوران، مقیاس‌گذاری، انتقال، قیچی‌کردن، محوکردن، فشردگی، متعادل‌سازی هیستوگرام و نوپه‌های گاوسی، نقطه‌ای و نمک‌وفلفل مقاوم بوده و در مقابل حمله‌هایی مانند فیلتر میانگین، فیلتر میانه با پنجره‌های 5×5 و 10×10 ، اصلاح گاما ۰/۸ و بلور حرکتی چندان قوی نیست.

روش MWT-BSVD در مقابل حمله‌هایی مانند فیلتر پایین‌گذر گاوسی، دوران، انتقال، قیچی‌کردن، فشردگی با فاکتورهای ۳۰، ۸۰ و ۹۰، نوپه‌های نمک‌وفلفل مقاوم است و در فیلتر میانه، برش، محوکردن، اصلاح گاما، تیزکردن و نوپه‌های گاوسی و نقطه‌ای مقاومت تقریباً بالایی از خود نشان می‌دهد و در برابر حمله‌هایی مانند فیلتر میانگین، فیلتر میانه با پنجره‌های 5×5 و 10×10 و بلور حرکتی مقاوم نیست. روش Ridgelet-BSVD در مقابل حمله‌هایی مانند فیلتر پایین‌گذر گاوسی، فیلتر میانه، برش، دوران، مقیاس‌گذاری، انتقال، قیچی‌کردن، محوکردن، فشردگی، نوپه‌سازی و نوپه‌های گاوسی و نمک‌وفلفل مقاومت بالایی دارد و در برابر فیلتر میانگین با پنجره‌های 3×3 و 5×5 ، بلور حرکتی، اصلاح گاما، تیزکردن و نوپه‌های گاوسی و نمک‌وفلفل مقاومت خوبی دارد و در حمله‌هایی مانند فیلتر میانه با پنجره‌های 5×5 و 10×10 شکستنده است.

جدول ۷: مقادیر NC برای حملات مختلف روی تصاویر نشانه‌گذاری شده جدول ۸: مقادیر NC برای حملات مختلف روی تصاویر نشانه‌گذاری شده روش MWT-BSVD با $\alpha=0.015$ روش Ridgelet-BSVD با $\alpha=0.007$

حمله	baboon	barbara	fishing boat	elaine	lenna	peppers	Stream & bridge	حمله	baboon	barbara	fishing boat	elaine	lenna	peppers	Stream & bridge
AF 3×3	۷۳	۸۴	۸۴	۸۳	۸۵	۸۵	۷۶	AF 3×3	۹۰	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۹
AF 5×5	۵۳	۶۳	۶۲	۶۴	۶۲	۶۵	۵۸	AF 5×5	۷۷	۹۱	۸۷	۹۲	۹۰	۹۱	۸۴
AF 10×10	۳۵	۴۱	۴۱	۴۳	۴۱	۴۲	۳۸	AF 10×10	۵۰	۶۷	۵۸	۷۱	۶۷	۶۸	۵۷
GP 3×3	۹۷	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸	۹۸	۹۷	GP 3×3	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸
GP 5×5	۹۷	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸	۹۸	۹۷	GP 5×5	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸
MF 2×2	۸۹	۹۴	۹۶	۹۶	۹۷	۹۷	۹۰	MF 2×2	۹۶	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۹۰
MF 3×3	۸۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۶	۹۶	۸۴	MF 3×3	۹۳	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۶	۹۹
MF 4×4	۶۸	۸۷	۸۷	۸۳	۹۰	۹۱	۷۵	MF 4×4	۸۷	۹۷	۹۵	۹۷	۹۷	۹۲	۹۸
MF 5×5	۶۱	۸۶	۸۶	۷۷	۹۰	۸۹	۷۱	MF 5×5	۸۴	۹۷	۹۳	۹۷	۹۸	۹۰	۸۸
MF 10×10	۴۲	۷۶	۵۸	۸۳	۷۹	۸۲	۵۳	MF 10×10	۶۲	۹۰	۷۹	۹۳	۹۲	۷۵	۷۷
CR 30%	۴۸	۵۳	۵۸	۷۱	۵۹	۵۹	۵۷	CR 30%	۶۴	۸۵	۷۵	۸۵	۹۰	۸۰	۹۰
CR 50%	۶۷	۸۴	۸۱	۸۸	۸۶	۸۶	۷۹	CR 50%	۸۸	۹۱	۹۱	۹۶	۹۶	۹۲	۹۲
CR 70%	۸۹	۹۴	۹۴	۹۶	۹۶	۹۶	۹۰	CR 70%	۹۶	۹۷	۹۷	۹۸	۹۷	۹۷	۹۴
CR 90%	۹۶	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۹۶	CR 90%	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۴
RO 5°	۹۶	۹۸	۹۹	۹۸	۹۹	۹۹	۹۷	RO 5°	۹۷	۹۶	۹۸	۹۷	۹۷	۹۸	۹۵
RO 30°	۸۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۲	RO 30°	۹۴	۹۸	۹۶	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷
RO 45°	۸۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۱	RO 45°	۹۴	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۸۵
RO 70°	۹۱	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۹	۹۴	RO 70°	۹۵	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۸۹
RO 110°	۹۱	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۴	RO 110°	۹۴	۹۸	۹۷	۹۷	۹۸	۹۸	۹۵
RO -10°	۹۵	۹۸	۹۹	۹۸	۹۹	۹۹	۹۶	RO -10°	۹۶	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۸
RO -50°	۸۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۱	RO -50°	۹۳	۹۷	۹۷	۹۸	۹۸	۹۷	۹۹
RO -80°	۹۵	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۶	RO -80°	۹۶	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۸
SC 0.25	۴۶	۵۶	۵۴	۵۹	۵۵	۵۸	۵۱	SC 0.25	۷۷	۹۱	۸۷	۹۳	۹۱	۹۲	۸۳
SC 0.5	۷۳	۸۴	۸۴	۸۴	۸۵	۸۶	۷۶	SC 0.5	۹۲	۹۷	۹۷	۹۸	۹۸	۹۷	۹۵
SC 0.75	۸۷	۹۴	۹۶	۹۶	۹۷	۹۶	۸۸	SC 0.75	۹۶	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۹	۹۴
SC 1.25	۹۷	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۷	SC 1.25	۹۸	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۳
SC 1.5	۹۷	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۷	SC 1.5	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۰
TR(10,10)	۹۹	۹۸	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	TR(10,10)	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
TR(10,20)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	TR(10,20)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹
TR(20,35)	۹۷	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	TR(20,35)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹
TR(35,45)	۹۴	۹۶	۹۵	۹۶	۹۶	۹۶	۹۵	TR(35,45)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۶
TR(50,50)	۹۲	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۳	TR(50,50)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۰
SE(0,2,0,2)	۸۸	۹۷	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۱	SE(0,2,0,2)	۹۱	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹
SE(1,0,2)	۸۲	۹۷	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۰	SE(1,0,2)	۸۷	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۶	۹۹
SE(0,2,1)	۸۲	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۱	SE(0,2,1)	۸۶	۹۵	۹۵	۹۴	۹۴	۹۶	۹۹
SE(0,3,0,1)	۸۷	۹۷	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۴	SE(0,3,0,1)	۸۶	۹۸	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷
FL horizontal	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	FL horizontal	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۶
FL vertical	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	FL vertical	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۰
RoSc(2,0,5)	۸۷	۸۷	۸۷	۸۷	۸۷	۸۷	۸۷	RoSc(2,0,5)	۸۷	۹۷	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۸۳
RoSc(5,0,5)	۸۷	۸۷	۸۷	۸۷	۸۷	۸۷	۸۷	RoSc(5,0,5)	۸۸	۹۷	۹۳	۹۳	۹۳	۹۳	۸۵
RoScCr(2,0,5,30)	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	RoScCr(2,0,5,30)	۶۱	۷۴	۷۳	۷۳	۷۳	۷۴	۷۵

جدول ۱۰: مقادیر NC برای حملات مختلف روی تصاویر
نشانه‌گذاری شده روش DST-BSVD با $\alpha=0.004$

جدول ۹: مقادیر NC برای حملات مختلف روی تصاویر نشانه‌گذاری شده
روش CT-BSVD با $\alpha=0.01$

حمله	baboon	barbara	fishing boat	elaine	lenna	peppers	Stream & bridge	حمله	baboon	barbara	fishing boat	elaine	lenna	peppers	Stream & bridge
AF 3×3	۹۵	۹۶	۹۷	۹۶	۹۶	۹۶	۹۵	AF 3×3	۹۱	۹۲	۹۳	۹۳	۹۳	۹۳	۹۱
AF 5×5	۷۹	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸	۸۷	۸۴	AF 5×5	۹۱	۹۲	۹۳	۹۳	۹۳	۹۳	۹۱
AF 10×10	۴۷	۵۶	۵۲	۵۵	۵۶	۵۱	۵۱	AF 10×10	۹۲	۹۲	۹۳	۹۳	۹۳	۹۲	۹۲
GP 3×3	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۸	GP 3×3	۹۱	۹۰	۹۲	۹۳	۹۳	۹۳	۹۱
GP 5×5	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۸	GP 5×5	۸۸	۹۱	۹۳	۹۳	۹۳	۹۳	۸۸
MF 2×2	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	MF 2×2	۳۸	۷۶	۷۳	۶۶	۶۴	۶۰	۳۸
MF 3×3	۹۶	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	MF 3×3	۶۸	۸۶	۷۹	۹۳	۸۵	۸۷	۶۸
MF 4×4	۹۲	۹۷	۹۵	۹۷	۹۷	۹۶	۹۴	MF 4×4	۸۶	۹۰	۸۷	۹۰	۸۶	۸۶	۸۶
MF 5×5	۸۷	۹۶	۹۱	۹۶	۹۶	۹۵	۹۱	MF 5×5	۴۹	۸۳	۷۶	۸۵	۷۴	۷۳	۴۹
MF 10×10	۵۹	۷۲	۷۲	۹۱	۹۱	۹۱	۷۷	MF 10×10	۶۷	۹۰	۹۱	۸۹	۸۱	۸۳	۶۷
CR 30%	۷۳	۸۴	۹۰	۹۲	۹۲	۸۲	۸۶	CR 30%	۸۰	۹۰	۸۷	۸۹	۸۷	۷۰	۸۰
CR 50%	۹۰	۹۳	۹۸	۹۷	۹۸	۹۳	۹۷	CR 50%	۸۰	۹۰	۸۷	۹۰	۸۶	۷۲	۸۰
CR 70%	۹۷	۹۶	۹۹	۹۸	۹۹	۹۶	۹۸	CR 70%	۸۱	۸۹	۸۶	۹۱	۸۵	۷۶	۸۱
CR 90%	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۹	۹۸	۹۹	CR 90%	۸۱	۸۹	۸۴	۹۱	۸۴	۷۷	۸۱
RO 5°	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۸	۹۸	RO 5°	۸۰	۸۸	۸۴	۹۱	۸۳	۷۹	۸۰
RO 30°	۹۷	۹۷	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	RO 30°	۸۲	۶۷	۸۱	۷۲	۸۱	۸۴	۸۲
RO 45°	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۷	RO 45°	۸۴	۷۴	۸۶	۶۵	۸۱	۸۸	۸۴
RO 70°	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۹	۹۸	۹۸	RO 70°	۸۶	۷۶	۸۷	۷۲	۸۳	۸۸	۸۶
RO 110°	۹۶	۹۷	۹۶	۹۸	۹۹	۹۸	۹۶	RO 110°	۸۶	۸۳	۸۸	۷۳	۸۶	۸۶	۸۶
RO -10°	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	RO -10°	۹۰	۹۰	۸۹	۹۰	۸۹	۹۰	۹۰
RO -50°	۹۷	۹۷	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	RO -50°	۹۰	۹۲	۹۱	۹۳	۹۱	۹۰	۹۰
RO -80°	۹۷	۹۷	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	RO -80°	۹۱	۹۳	۹۲	۹۲	۹۳	۹۰	۹۰
SC 0.25	۷۶	۸۶	۸۵	۸۳	۸۵	۸۴	۷۸	SC 0.25	۹۱	۹۴	۹۳	۹۳	۹۱	۹۱	۹۰
SC 0.5	۹۵	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	SC 0.5	۹۰	۹۱	۹۲	۹۱	۹۲	۹۰	۹۰
SC 0.75	۹۸	۹۸	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۸	SC 0.75	۸۷	۹۱	۹۱	۹۰	۹۱	۸۷	۸۷
SC 1.25	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۷	SC 1.25	۸۷	۹۱	۹۰	۸۹	۸۹	۹۱	۸۶
SC 1.5	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۸	SC 1.5	۸۷	۸۹	۹۰	۸۹	۸۹	۹۱	۸۶
TR(10,10)	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	TR(10,10)	۹۱	۹۴	۹۳	۹۳	۹۲	۹۱	۹۱
TR(10,20)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	TR(10,20)	۹۱	۹۳	۹۲	۹۲	۹۱	۹۰	۹۱
TR(20,35)	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	۹۸	TR(20,35)	۹۱	۹۳	۹۳	۹۳	۹۲	۹۱	۹۱
TR(35,45)	۹۷	۹۶	۹۶	۹۵	۹۶	۹۴	۹۷	TR(35,45)	۸۹	۹۱	۹۲	۹۰	۹۱	۸۸	۸۸
TR(50,50)	۹۵	۹۴	۹۳	۹۳	۹۳	۹۲	۹۵	TR(50,50)	۸۶	۹۱	۹۱	۹۰	۹۱	۸۶	۸۶
SE(0.2,0.2)	۹۷	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۸	SE(0.2,0.2)	۹۱	۹۳	۹۴	۹۳	۹۲	۹۳	۹۱
SE(1,0.2)	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۸	SE(1,0.2)	۹۱	۹۳	۹۲	۹۴	۹۱	۹۱	۹۱
SE(0.2,1)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	SE(0.2,1)	۹۱	۹۳	۹۳	۹۳	۹۳	۹۳	۹۰
SE(0.3,0.1)	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۹۷	SE(0.3,0.1)	۹۰	۹۱	۹۲	۹۱	۹۲	۹۲	۹۰
FL horizontal	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	FL horizontal	۸۸	۹۲	۹۱	۹۰	۹۰	۹۲	۸۹
FL vertical	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	FL vertical	۸۶	۹۰	۹۰	۸۹	۸۹	۹۱	۸۶
RoSc(2,0.5)	۹۵	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۶	RoSc(2,0.5)	۳۳	۷۳	۶۱	۶۳	۴۷	۳۷	۳۱
RoSc(5,0.5)	۹۵	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۹۵	RoSc(5,0.5)	۳۳	۶۳	۶۲	۶۳	۴۷	۳۷	۳۱
RoScCr(2,0.5,30)	۵۹	۵۸	۵۸	۵۸	۵۸	۵۸	۶۷	RoScCr(2,0.5,30)	۳۲	۵۷	۴۵	۶۳	۳۴	۳۸	۳۰

تشکر و قدردانی

این پژوهش برای نویسنده اول توسط طرح تحقیقاتی "آنالیز فوریه و کاربردها" دانشگاه صنعتی اصفهان به طور محدود مورد حمایت قرار گرفته است.

مراجع

- [1] P. P. Thulasidharan and M. S. Nair, "QR code based blind digital image watermarking with attack detection code," *AEU-International J. Electron. Commun.*, vol. 69, no. 7, pp. 1074–1084, 2015.
- [2] M. Abdullatif, A. M. Zeki, J. Chebil, and T. S. Gunawan, "Properties of digital image watermarking," in *Signal Processing and its Applications (CSPA), 2013 IEEE 9th International Colloquium on*, pp. 235–240, 2013.
- [3] N. M. Charkari, M. A. Z. Chahooki, and M. Radmanesh, "A novel approach to a high capacity data hiding in digital images," in *Signal Processing and Information Technology, IEEE International Symposium on*, pp. 361–364, 2007.
- [4] N. M. Charkari and M. A. Z. Chahooki, "A robust high capacity watermarking based on DCT and spread spectrum," in *Signal Processing and Information Technology, IEEE International Symposium on*, pp. 194–197, 2007.
- [5] M. Singh, A. Singhal, and A. Chaudhary, "Digital image watermarking techniques: A survey." *International Journal of Computer Science and Telecommunications* 4.6 (2013).
- [6] N. M. Makbol and B. E. Khoo, "A new robust and secure digital image watermarking scheme based on the integer wavelet transform and singular value decomposition," *Digit. Signal Process.*, vol. 33, pp. 134–147, 2014.
- [7] H. R. Kaviani, N. Karimi, and S. Samavi, "Robust watermarking in singular values of contourlet coefficients," in *Machine Vision and Image Processing (MVIP), 2011 7th Iranian*, pp. 1–5, 2011.
- [8] Z. Dinghui, D. Haixia, and Z. Chao, "Researches on Digital Image Watermarking," in *Electronic Measurement and Instruments, ICEMI'07. 8th International Conference on*, pp. 2–818, 2007.
- [9] S. R. Chalamala, K. R. Kakkirala, and R. G. B. Mallikarjuna, "Analysis of wavelet and contourlet transform based image watermarking techniques," in *Advance Computing Conference (IACC), 2014 IEEE International*, pp. 1122–1126, 2014.
- [10] C. Fung, A. Gortan, and W. Godoy Junior, "A review study on image digital watermarking," in *ICN, The Tenth International Conference on Networks*, pp. 24–28, 2011.

در برابر حمله‌های دوران، انتقال، قیچی‌کردن و مقیاس‌گذاری دارند. در میان موجک‌های چندجهته، تبدیل قیچک علاوه بر فراهم کردن شفافیت بالا در نشانه‌گذاری تصویر، مقاومت خوبی نیز در مقابل انواع حمله‌ها از خود نشان می‌دهد.

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای کارهای آینده

رشد سریع اینترنت و به دنبال آن اشتراک‌گذاری داده‌های چندرسانه‌ای و در دسترس بودن ابزارهای پردازش تصاویر رقومی سبب شده است که انتشار و دستکاری این تصاویر به راحتی صورت پذیرد و مشکلاتی مانند نقض قوانین حق‌نشر به وجود آید. در این شرایط امنیت و محافظت از داده‌ها چالش مهمی محسوب می‌شود. نشانه‌گذاری به عنوان یکی از راه‌حل‌های این مسائل است. در نشانه‌گذاری، نشانه طی انجام مراحل در تصویر جاسازی می‌شود و سپس نشانه از تصویر نشانه‌گذاری شده که در معرض حمله قرار گرفته است، استخراج می‌شود به نحوی که قابل شناسایی باشد. بیشتر روش‌های نشانه‌گذاری ارائه شده در حوزه فرکانس، از تبدیل موجک استفاده کرده‌اند چراکه سیستم بینایی انسان را به خوبی مدل می‌کند. تبدیل‌های موجک دیگری بر پایه تبدیل موجک اولیه طراحی شده‌اند که از این تبدیل‌های توسعه یافته در نشانه‌گذاری نیز استفاده شده است. در این مقاله، اثربخشی توسعه‌های مختلف تبدیل موجک در ترکیب با روش تجزیه ماتریسی BSVD در قالب یک چارچوب عمومی بر روی انواع حمله‌ها بررسی گردیده است.

با توجه به نتایج آزمایش‌ها، در میان توسعه‌های مختلف در این مقاله، می‌توان گفت تبدیل قیچک در ترکیب با BSVD کارایی بهتری دارد و شفافیت و مقاومت بیشتری را فراهم می‌کند. به طور کلی از نتایج روش‌های چارچوب عمومی می‌توان نتیجه گرفت که این چارچوب علاوه بر ارائه روش‌های شفاف، مقاومت بالایی نیز مقابل حمله‌های فیلتر پایین‌گذر گاوسی، نویزهای گاوسی، نقطه‌ای و نمک و فلفل، فشرده‌سازی، دوران، متعادل‌سازی هیستوگرام، مقیاس‌گذاری و انتقال فراهم می‌کند.

با پیشرفت دستگاه‌های نمایش سه بعدی کم‌هزینه، اهمیت داده‌های سه بعدی مبتنی بر تصویر روزبه‌روز بیشتر می‌شود و از آنجا که موجک‌های چندجهته برای داده‌های چندبعدی مناسب‌اند، از این روش می‌توان روشی نشانه‌گذاری برای این تصاویر و با استفاده از موجک‌های چندجهته طراحی کرد. همان‌طور که در الگوریتم جاسازی چارچوب پیشنهادی اشاره شد، زیرباندهای حاصل از تجزیه‌های توسعه‌های موجک، جهت درج نشانه براساس روش سعی و خطا انتخاب می‌شوند. می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی انتخاب زیرباندها را به صورت بهینه انتخاب کرد و نتایج نشانه‌گذاری را بهبود داد.

- Seminar on Harmonic Analysis and Applications, Yazd, Iran, 2015.
- [25] M. Mardanpour and M. A. Z. Chahooki, "A hybrid watermarking scheme by Redundant Wavelet Transform and Bidiagonal Singular Value Decomposition," in Proceeding of 3rd Seminar on Harmonic Analysis and Applications, Yazd, Iran, 2015.
- [26] N. M. Makbol and B. E. Khoo, "Robust blind image watermarking scheme based on redundant discrete wavelet transform and singular value decomposition," AEU-International J. Electron. Commun., vol. 67, no. 2, pp. 102–112, 2013.
- [27] M. N. Do and M. Vetterli, "The finite ridgelet transform for image representation," Image Process. IEEE Trans., vol. 12, no. 1, pp. 16–28, 2003.
- [28] M. N. Do and M. Vetterli, "The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation," Image Process. IEEE Trans., vol. 14, no. 12, pp. 2091–2106, 2005.
- [29] H. Sadreazami and M. Amini, "Highly robust image watermarking in contourlet domain using singular value decomposition," in Signal Processing (ICSP), IEEE 11th International Conference on, vol. 1, pp. 628–631, 2012.
- [30] B. Ahmaderaghi, J. Martinez Del Rincon, F. Kurugollu, and A. Bouridane, "Perceptual watermarking for discrete shearlet transform," in Visual Information Processing (EUVIP), 5th European Workshop on, pp. 1–6, 2014.
- [31] Signal and Image Processing Institute, October 2015, <http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc>
- [32] S. Voloshynovskiy, S. Pereira, V. Iquise, and T. Pun, "Attack modelling: towards a second generation watermarking benchmark," Signal Processing, vol. 81, no. 6, pp. 1177–1214, 2001.
- [33] نفیسی‌فرد، پیمان. درهمی، ولی. لطیف، علی‌محمد. "واترمارکینگ وقتی تصاویر دیجیتال مبتنی بر یادگیری ماشینی". سیستم‌های هوشمند در مهندسی برق، سال دوم، شماره چهارم، ص ۴۷ تا ۶۴، ۱۳۹۰
- [34] Computational Imaging Group at Xiamen University, October 2015, http://www.qxiaobo.org/software/software_Transforms.html
- [35] ShearLab, version 1.1, October 2015, www.shearlet.org/
- [36] S. Rawat and B. Raman, "Best tree wavelet packet transform based copyright protection scheme for digital images," Opt. Commun., vol. 285, no. 10, pp. 2563–2574, 2012.
- [37] M. Ali and C. W. Ahn, "An optimized watermarking technique based on self-adaptive DE in DWT-SVD transform domain," Signal Processing, vol. 94, pp. 545–556, 2014.
- [38] K. Loukhaoukha and J.-Y. Chouinard, "A new image watermarking algorithm based on wavelet transform," in Electrical and Computer Engineering, CCECE'09. Canadian Conference on, pp. 229–234, 2009.
- [11] G. Easley, D. Labate, and W.-Q. Lim, "Sparse directional image representations using the discrete shearlet transform," Appl. Comput. Harmon. Anal., vol. 25, no. 1, pp. 25–46, 2008.
- [12] J.-L. Starck, E. J. Candès, and D. L. Donoho, "The curvelet transform for image denoising," Image Process. IEEE Trans., vol. 11, no. 6, pp. 670–684, 2002.
- [13] M. N. Do and M. Vetterli, "Orthonormal finite ridgelet transform for image compression," in Image Processing, Proceedings. International Conference on, vol. 2, pp. 367–370, 2000.
- [14] S. AlZubi, N. Islam, and M. Abbod, "Multiresolution analysis using wavelet, ridgelet, and curvelet transforms for medical image segmentation," J. Biomed. Imaging, vol. 2011, p. 4, 2011.
- [15] A. Mosleh, F. Zargari, and R. Azizi, "Texture image retrieval using contourlet transform," in Signals, Circuits and Systems, 2009. ISSCS 2009. International Symposium on, pp. 1–4, 2009.
- [16] G. Y. Chen, T. D. Bui, and A. Krzyżak, "Rotation invariant feature extraction using ridgelet and fourier transforms," Pattern Anal. Appl., vol. 9, no. 1, pp. 83–93, 2006.
- [17] H. S. Prasantha, H. L. Shashidhara, and K. N. Balasubramanya Murthy, "Image compression using SVD," in Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, International Conference on, vol. 3, pp. 143–145, 2007.
- [18] P. K. Sadasivan and D. N. Dutt, "SVD based technique for noise reduction in electroencephalographic signals," Signal Processing, vol. 55, no. 2, pp. 179–189, 1996.
- [19] C.-C. Lai and C.-C. Tsai, "Digital image watermarking using discrete wavelet transform and singular value decomposition," Instrum. Meas. IEEE Trans., vol. 59, no. 11, pp. 3060–3063, 2010.
- [20] G. Bhatnagar and B. Raman, "Robust reference-watermarking scheme using wavelet packet transform and bidiagonal-singular value decomposition," Int. J. Image Graph., vol. 9, no. 03, pp. 449–477, 2009.
- [21] M. Mardanpour and M. A. Zare Chahooki, "Robust transparent image watermarking with Shearlet transform and bidiagonal singular value decomposition." AEU-International Journal of Electronics and Communications, vol. 70, no. 6, pp. 790–798, 2016.
- [22] https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelet_packet_decomposition (Accessed: 8th October 2015)
- [23] L. Ghouti, A. Bouridane, M. K. Ibrahim, and S. Boussakta, "Digital image watermarking using balanced multiwavelets," Signal Process. IEEE Trans., vol. 54, no. 4, pp. 1519–1536, 2006.
- [24] M. Mardanpour and M. A. Z. Chahooki, "Robust blind image watermarking based on multiwavelet transform and singular value decomposition," in Proceeding of 3rd

- [39] A. Mishra, C. Agarwal, A. Sharma, and P. Bedi, "Optimized gray-scale image watermarking using DWT-SVD and Firefly Algorithm," *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, no. 17, pp. 7858–7867, 2014.



ملیحه مردانپور کارشناسی خود را در رشته مهندسی کامپیوتر، گرایش نرم افزار در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه رازی کرمانشاه دریافت کرد. سپس کارشناسی ارشد خود را در همان رشته و گرایش در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه یزد اخذ نمود. حوزه‌های پژوهشی ایشان شامل یادگیری ماشین، پردازش تصویر، نهان‌نگاری تصویر و کاربرد انواع تبدیل‌های موجک است.



محمدعلی زارع چاهوکی کارشناسی خود را در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار در سال ۱۳۷۸ از دانشگاه شهید بهشتی دریافت کردند. سپس کارشناسی ارشد و دکتری خود را در همان رشته و گرایش در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۲ از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمودند. در حال حاضر ایشان استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه یزد هستند. حوزه‌های پژوهشی ایشان شامل یادگیری ماشین، مهندسی نرم‌افزار (متدولوژی و کاربردهای مرتبط با یادگیری)، بینایی ماشین (شرح‌گذاری خودکار تصاویر، بازیابی تصاویر و نظارت دیداری)، و نهان‌نگاری است.



حسین جوانشیری در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری ریاضی از دانشگاه صنعتی اصفهان دانش‌آموخته شده است. از سال ۱۳۹۱ در دانشگاه یزد مشغول به انجام وظیفه است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه‌ی ایشان، نظریه موجک‌ها، قاب‌های گابور و آنالیز هارمونیک کاربردی است.