فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷
صفحات ۱۱-۱۹
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

روش های پنهان نگاری اطلاعات در حوزه تبدیلات

میلاد کرمی
۱ مربی آموزشیار مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

چکیده
یکی از دلیلی که نهان نگاری حوزه مکان را با چالش مواجه می سازد توانایی بسیار پایین آن برای مقابله با تغییرات در تصویر می باشد. در واقع اکثریت روشهای نهان نگاری در حوزه مکان نسبت به کوچکترین تغییرات در تصویر حساس بوده و اطلاعات نهان نگاری شده در آن ها مخدوش می گردد. در عین حال در صورتی که از تعداد بیتهای زیادی برای نهان نگاری استفاده شود تغییرات موجود در تصویر می توانند حتی با چشم انسان نیز قابل شناسایی باشند. تکنیکهای به کار برده شده در حوزه زمان به راحتی در مقابل پردازشهای مختلف منجر به شکست می شدند. بنابراین برای داشتن واترمارک قوی از تکنیکهایی در حوزه تبدیلات استفاده می کنند. در این تکنیکها، داده مورد نظر در تبدیل یافته تصویر اصلی جایگذاری می شود. با توجه به اینکه در حوزه تبدیلات، فرکانسها دستکاری می شوند این حوزه را حوزه فرکانسی (Frequency Domain) نیز می نامند.

واژه‌های کلیدی: حوزه تبدیلات، حوزه فرکانسی، واترمارکینگ، DCT، DWT، DFT

مقدمه

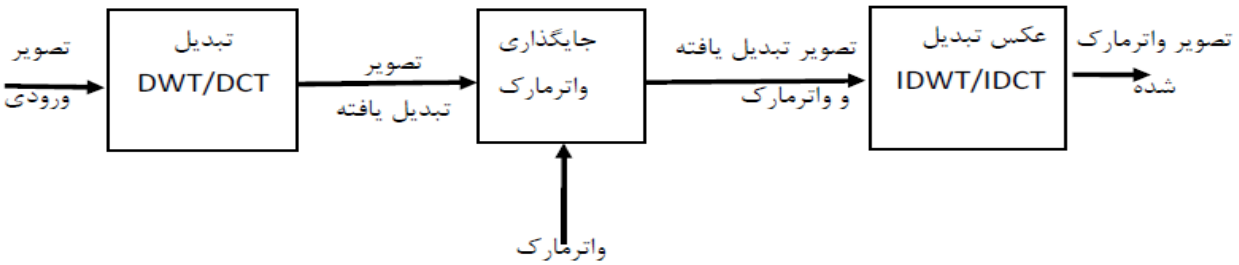
در روش های مورد استفاده در حوزه تبدیلات، واترمارک در تمام دامنه دیتای اصلی توزیع می شود. سیستم های واترمارکینگی که از دامنهDCT برای جاسازی واترمارک استفاده می کنند، نسبت به حملاتی مثل فشرده سازی های با اتلاف مثل JPEG و برخی از حملات هندسی مثل برش، مقاوم هستند. این سیستم ها با استفاده ازDCT تصویر را به باندهای فرکانسی متفاوتی تفکیک می کنند و به این ترتیب واترمارک را در باندهای فرکانسی میانی یک تصویر، جاسازی می کنند.

سیستم های واترمارکینگ در دامنه DWT دارای مزایای زیادی هستند، که انطباق بیشتر آن با سیستم بینایی انسان (HVS) نسبت به دیگر دامنه های تبدیل، یکی از این مزایاست. این روش در حالیکه به کیفیت تصویر آسیبی نمی رساند باعث افزایش مقاومت واترمارک نیز می شود. روشهایی که بر اساس تبدیل DFT نیز هستند، روشهای مقاومی محسوب می شوند. البته بدلیل اینکه اکثر فشرده سازیهایی که روی اسناد چند رسانه ای صورت می گیرند از DWT و DCT بهره می برند. روشهای مبتنی بر DFT کمتر مورد استفاده قرار می گیرند، زیرا هدف، سازگاری بیشتر سیستم های واترمارکینگ با این فشرده سازیهاست.

دامنه دیگری که برای واترمارک کردن از آن استفاده می شود، دامنه فشرده سازی است. دامنه فشرده سازی نمی تواند دامنه قابل اعتمادی برای جاسازی واترمارک باشد. زیرا با تغییر نوع فشرده سازی یا فشرده سازی مجدد با پارامترهای متفاوت، سند دچار تغییراتی می گردد که کشف واترمارک را در آن غیرممکن می سازد.

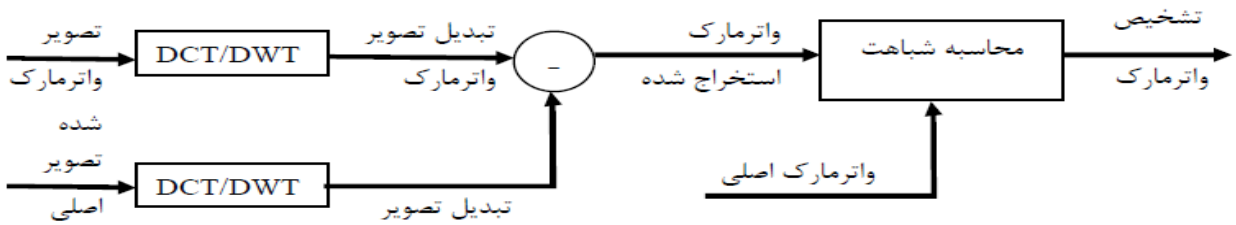
در روش هیبرید یا ترکیبی، برای جا سازی واترمارک، از ترکیبی از دامنه ها یا روشهای مطرح شده، استفاده می شود تا واترمارکینگ حاصل، از مزایای روش های ترکیب شده، بهره مند گردد.

شکل ۱، بلوک دیاگرام درج یک واترمارک در حوزه تبدیلات را نشان می دهد.



شکل ۱. بلوک دیاگرام درج واترمارک در حوزه تبدیل

همانگونه که در شکل مشاهده می شود از تصویر ورودی تبدیل گرفته می شود و سپس داده های واترمارک در ضرائب تبدیلات جاسازی می شود. در نهایت نیز عکس تبدیل گرفته شده بر روی ضرائب فرکانسی اعمال می شود تا تصویر واترمارک شده حاصل گردد. برای استخراج واترمارک نیز بلوک دیاگرام مربوطه در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲. بلوک دیاگرام استخراج و تشخیص واترمارک در حوزه تبدیل

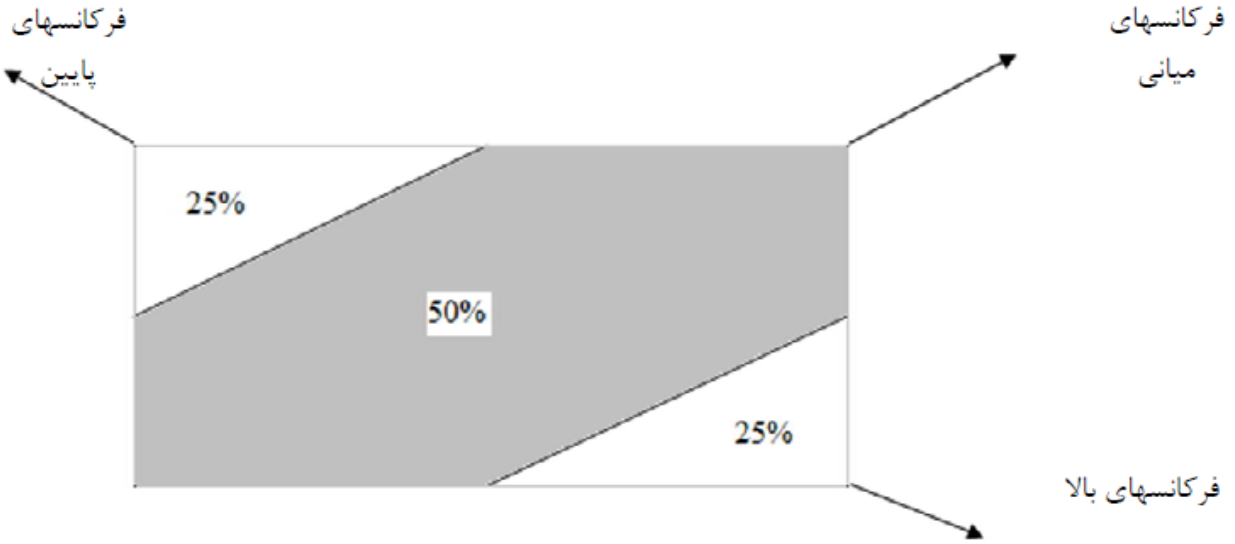
۱- روش شناسی:

به طور معمول DCT (Discrete Cosine Transform)، DWT (Discrete Wavelet Transform) و DFT (Discrete Fourier Transform) تبدیلاتی هستند که در سیستمهای واترمارکینگی که پردازش را در دامنه فرکانسی انجام می دهند، بکار می روند. در ادامه به بررسی این روش ها می پردازیم.

۲-۱- تبدیل کسینوسی (DCT)

با استفاده از یک تبدیل کسینوسی (Discrete Cosine Transform) می توان مجموعه ای از ضرایب فرکانسی یک سیگنال که در باندهای فرکانسی یکسان هستند را به دست آورد. ضرایب حاصل از تبدیل بصورت اعداد حقیقی هستند. تبدیل کسینوسی کاربرد زیادی در فشرده سازی تصاویر و ویدئو دارد. این تبدیل سابقه دیرینه در فشرده سازی دارد. این تبدیل در فشرده سازی JPEG و MPEG مورد استفاده قرار گرفته است. در این فشرده سازی ابتدا تصویر یا ویدئو به بلاکهای ۸×۸ تقسیم می شود و سپس بر روی هر بلاک تبدیل DCT اعمال می گردد.

پس از اعمال تبدیل DCT، ضرایب حاصل می توانند در سه باند فرکانسی قرار گیرند. این سه باند شامل ضرایب با فرکانس کم، ضرایب با فرکانس متوسط (میانی) و ضرایب با فرکانس بالا می شوند (شکل ۳) (ژانسان و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۳. باندهای فرکانسی حاصل از ضرایب DCT

همانطور که مشاهده می شود ۵۰٪ از ضرایب دارای فرکانسهای میانی هستند که برای جاسازی واترمارک مناسب هستند. ۲۵٪ از ضرایب در فرکانسهای پایین هستند که در ناحیه قابل رویت بوده و ۲۵٪ مابقی در فرکانسهای بالا هستند که نسبت به حملات و نویز حساسند.

تبدیل کسینوسی دو بعدی از تبدیل یک بعدی بر روی سطر و سپس تبدیل یک بعدی بر روی ستون حاصل می شود. الگوریتمهای متفاوتی برای به دست آوردن ضرایب تبدیل دو بعدی وجود دارد. یکی از این الگوریتمها استفاده از ضرب ماتریسی است که ضرایب ماتریس M*M به صورت زیر محاسبه می شود:

$$T_{i,j} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}} & if\ i - 0,0 \le j \le M - 1. \\ \sqrt{\frac{2}{M}} * \cos\frac{\pi(2j+1)i}{2M} & \text{if } 1 \le i \le M - 1, 0 \le j \le M - 1 \end{cases}$$

طرحهای ابتدایی استفاده از تبدیل DCT در واترمارکینگ توسط کاکس و همکارانش ارائه گردید. الگوریتم های متعددی در حوزه فرکانس و با استفاده از تبدیل DCT ارائه گردید که از ابتدایی ترین آنها می توان به الگوریتم کاکس (Cox'sAlgorithm) اشاره نمود.

کاکس و همکارانش اطلاعات واترمارک را روی فرکانس های زیادی پخش کردند(کاکس و همکاران، ۲۰۰۱). آنها برای پیاده سازی الگوریتم یک سری مقادیر V ($v_1, v_2, \dots, v_i$) را از تصویر I استخراج کردند. سپس اطلاعات واترمارک X ($x_1, x_2, \dots, x_n$) در مقادیر استخراج شده V جا سازی می شوند تا مقادیر V ($v_1, v_2, \dots, v_i$) با استفاده از رابطه زیر حاصل گردد:

$$T_{i,j} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}} & if\ i - 0,0 \le j \le M - 1. \\ \sqrt{\frac{2}{M}} * \cos\frac{\pi(2j+1)i}{2M} & \text{if } 1 \le i \le M - 1, 0 \le j \le M - 1 \end{cases}$$

در نهایت به منظور به دست آوردن تصویر واترمارک شده نهایی I' ، مقادیر v_i' ها داخل تصویر I جا سازی می شوند. در معادلات فوق α یک ضریب بوده و انتخاب آن نیز کار دشواری است.

برای تصاویر رنگی نیز ابتدا آنها را با استفاده از YCbCr به تصاویر خاکستری تبدیل کرده و سپس واترمارک را در مقادیر Y جا سازی می شوند. بطور کلی الگوریتمهای واترمارک برای تصاویر خاکستری مقاوم تر هستند لذا در مورد تصاویر رنگی ابتدا آنها را به تصاویر خاکستری تبدیل کرده و سپس واترمارک را در آنها جاسازی می کنیم.

در الگوریتم ارائه شده توسط کاکس، برای شناسایی واترمارک نیاز به تصویر اصلی می باشد و دیتاهای واترمارک نیز نباید در نواحی قابل رویت تصویر جاسازی شوند. در این نواحی، پردازشهای هندسی و معمول بر روی تصویر و واترمارک تاثیر می گذارند. به عنوان مثال وقتی واترمارک در فرکانسهای بالای یک عکس جاسازی می شود ممکن است یک فیلتر پایین گذر موجب تغییر یا تخریب در عکس گردد. بنابراین مشکل این الگوریتم درج واترمارک در نواحی با اهمیت است.

۲-۲- تبدیل موجک (DWT)

تبدیل ویولت، تبدیلی است که ویژگیها را بهتر از سایر تبدیلات مشخص می کند. ویولت توانایی نمایش یک سیگنال در حوزه زمان و فرکانس را دارد و اطلاعات بیشتری از سیگنال در اختیار قرار می دهد. ویولت چون با موجک (موج کوچک محدود) کار می کند، می تواند محل یک فرکانس را نیز مشخص کند در حالیکه از تبدیل فوریه تنها فرکانس سیگنال حاصل می شد و از موجها برای آنالیز سیگنال استفاده می شد. این ویژگی ویولت باعث افزایش کیفیت تصویر می شود. تبدیل ویولت از تکنیک مولتی رزولوشن استفاده می کند به گونه ای که فرکانسهای مختلف با رزولوشن های مختلف آنالیز می شوند. پس از اعمال تبدیل یک بعدی ویولت (DWT 1D) بر روی یک سیگنال، آن سیگنال به دو باند فرکانسی تجزیه می شود. با اعمال تبدیل یک بعدی در سطر و ستون یک سیگنال، تبدیل دو بعدی (DWT 2D) حاصل می شود. تبدیل دو بعدی یک فیلتر پایین گذر و یک فیلتر بالاگذر بر روی پیکسلهای تصویر اعمال می کند و این فیلترها باعث از بین رفتن مساله aliasing در تصویر می شوند.

در تجزیه سیگنال توسط تبدیل ویولت و ایجاد زیر تصویرها، نه تنها اطلاعاتی از بین نمی رود بلکه با جمع کردن جزئیات و تقریب حاصل از تبدیل، می توان تصویر اصلی را بازسازی کرد. با توجه به اینکه تبدیل ویولت از ویژگی چند رزولوشن

استفاده می کند می تواند در الگوریتمهای واترمارکینگ مفید باشد (الگمال و همکاران، ۲۰۱۳). کانال حاصل از اعمال فیلتر پایین گذر شامل ضرایب سیگنال با تغییرات کم است. در حالیکه در کانال حاصل از اعمال فیلتر بالا گذر تغییرات زیاد است. بنابراین می توان واترمارک را در نواحی که از نظر بینایی انسان حساسیت کمتری دارند جایگذاری کرد. این نواحی شامل باندهای جزئیات در رزولوشنهای بالا یعنی LH ، HL ، HH بوده که قدرت واترمارک را افزایش داده و کیفیت تصویر را کمتر تحت تاثیر قرار می دهند (رشمی سونی و همکاران، ۲۰۱٤). تبدیل ویولت در حوزه واترمارکینگ به روشهای مختلفی مورد استفاده قرارگرفت که در ادامه به پاره ای از آنها اشاره می کنیم.

با توجه به ویژگی چند رزولوشنه بودن ویولت می توان تاثیر جایگذاری واترمارک در تجزیه به سطوح مختلف را بررسی کرد. وجود تعداد ضرایب بیشتر و کیفیت بهتر تصویر از نظر بینایی در سطح اول را می توان از مزایای جایگذاری واترمارک در این سطح دانست.

در طرحی در سال ۲۰۱۱ با شرایط کاملا مشابه یک تصویر به عنوان واترمارک در تصویر اصلی جاسازی گردید. در طرح اول استفاده از ضرایب کم اهمیت (فرکانسهای پایین) و طرح دوم استفاده از ضرایب با اهمیت (جزئیات) مورد توجه قرارگرفت. نتایج حاصل نشان می دهد که تکنیک درج واترمارک در ضرایب فرکانسهای جزئیات به مراتب قویتر از تکنیک درج واترمارک در ضرایب فرکانسهای پایین می باشد با توجه به این مطلب، استفاده از ضرایب با اهمیت و درج واترمارک در این ضرایب مورد توجه قرار گرفت (هدهود و همکاران، ۲۰۱۱).

در این طرح تصویر به سطح سوم ویولت تجزیه شد و واترمارک در ضرایب جزییات درج گردید. برای بهبود این طرح جاگذاری واترمارک در نواحی با اهمیت یعنی نواحی که دارای لبه و بافت اصلی تصویر هستند، درج گردید.

در این طرح یک تصویر N*N به سه سطح ویولت تجزیه می شود. ضرایب ویولت زیر باندهای LL3 و HH3 که دامنه ای بزرگتر از t1 و کوچکتر از t2 دارند، به منظور جاسازی واترمارک انتخاب می شوند. در این طرح $f_{\max}$، ماکزیمم مقدار ضرایب ویولت در باندهای HL3 و LH3 فرض شده و یک مقدار آستانه بر حسب آن در نظرگرفته می شود. این حد آستانه از رابطه $t = \alpha . f_{max}$ حاصل می شود. در این رابطه شرایط زیر برقرار است:

$$0.01 < \alpha < 0.1$$

$$t_2 > t_1 > 1$$

حال یک تصویر باینری با سایز مشابه دو زیر باند مطرح شده همراه با یک کلید رمز که بصورت تصادفی تولید می شود، برای درج در واترمارک در نظر گرفته می شود.

ضرایب ویولت انتخاب شده بر اساس روش زیر کوانتیزه می شوند.

- اگر $X_{ij} = 1$ و $W_{ij}^{s} > 0$ آنگاه $W'^{s}_{ij} = t_2 - X_1$
- اگر $X_{ij} = 0$ و $W_{ij}^{s} > 0$ آنگاه $W'^{s}_{ij} = t_1 + X_1$
- اگر $X_{ij} = 1$ و $W_{ij}^{s} < 0$ آنگاه $W'^{s}_{ij} = -t_2 + X_1$
- اگر $X_{ij} = 0$ و $W_{ij}^{s} < 0$ آنگاه $W'^{s}_{ij} = -t_1 - X_1$

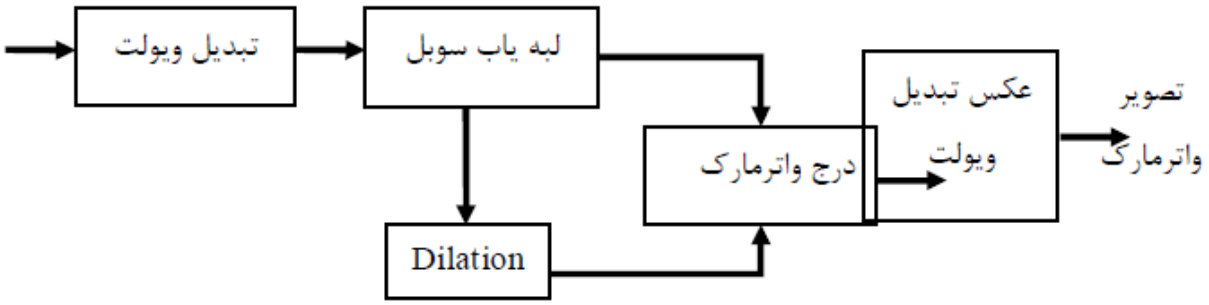
X_1 رنج بین دو سطح کوانتیزاسیون t_1 و t_2 ، X_{ij} بیت واترمارک، W_{ij}^{s} ضرایب ویولت انتخاب شده برای درج واترمارک W'^{s}_{ij} ضرایب ویولت واترمارک شده می باشند. بعد از انتخاب و محاسبه همه ضرایب کوانتیزه شده، با اعمال عکس تبدیل ویولت (IDWT) بر ضرایب حاصل، تصویر واترمارک شده حاصل می شود.

این طرح یک واترمارک نامرئی بر روی تصویر تولید می کند و برای استخراج واترمارک به فایلی شامل موقعیت هایی که واترمارک در آن جاگذاری می شود به همراه تصویر واترمارک شده نیاز می باشد. برای استخراج واترمارک نیز همانند الگوریتم جاسازی واترمارک، ابتدا تصویر تا سطح سوم ویولت به منظور تولید LL3 و HH3 تجزیه می شود. سپس تمام ضرایب ویولت که دامنه آنها بزرگتر مساوی $t_1 + X_1$ و یا کوچکتر مساوی $t_2 - X_2$ انتخاب می شوند. X_1 و X_2 پارامترهایی از درجه تحمل سیستم در مقابل حملات می باشند که فرض می شود $X_2 < X_1$ است. بیت های واترمارک از هر یک از ضرایب ویولت انتخاب شده با معادلات زیر استخراج می گردد.

- اگر $|W'^{s}_{ij}| < \frac{(t_1+t_2)}{2}$ آنگاه بیت واترمارک دارای مقدار صفر ($X_{ij} = 0$) می باشد.
- اگر $|W'^{s}_{ij}| \geq \frac{(t_1+t_2)}{2}$ آنگاه بیت واترمارک دارای مقدار یک ($X_{ij} = 1$) می باشد.

در نهایت با استفاده از فایلی که همراه تصویر واترمارک شده وجود دارد می توان کلید رمز را نیز پیدا کرد.

الیناس در یک الگوریتم واترمارک قوی با استفاده از تبدیل ویولت و استفاده از ضرایب با اهمیت آن ارائه کرد. آنها از مناطقی که لبه ها در آن قرار داشتند استفاده کردند. بدین منظور واترمارک در ضرایب باندهایی که لبه ها در آن قرار داشتند جاسازی شدند. در طرح آنها ابتدا تصویر ورودی توسط فیلتر دبیچف (Daubechies 8-tap) به چهار سطح تجزیه گردید. سپس برای هر زیر باند ضرایب ویولت با اهمیت بوسیله لبه یاب سوبل مشخص می شوند. لبه ها با یک مقدار آستانه به دو گروه تقسیم می شوند. ضرایب نواحی اطراف لبها با استفاده از عملیات مورفولوژی تقویت و مجزا شده و سپس واترمارک در زیر باندهای دارای ضرایب فرکانسهای بالا که شامل اطلاعات لبه ها هستند جاسازی می شوند. بدین ترتیب یک واترمارک غیر قابل رویت از دید انسان حاصل می شود. این الگوریتم در شکل ٤ مشاهده می شود.



شکل ٤ . بلوک دیاگرام درج واترمارک

۲-۳- تبدیل فوریه (DFT)

بر اساس تعریف سری فوریه، که در آن می توان یک سیگنال پریودیک را بر اساس مجموعی از ضرایب فرکانسهای پایه نوشت، تبدیل فوریه برای تصاویر قابل تعریف است. تبدیل فوریه دو بعدی بیان می کند که از یک تصویر پایه به چه تعداد در تصویر اصلی وجود دارد و از رابطه زیر بدست می آید:

$$\lambda_i^{*k} = \lambda_i^k + \alpha_k \lambda_{wi} \ , i = 1, \dots, n$$

عکس این تبدل نیز از رابطه زیر حاصل می شود:

$$\lambda_{wi}^k = (\lambda_i^{*k} - \lambda_i^k)/\alpha_k \ , i = 1 \dots\dots, n$$

با اعمال تبدیل فوریه بر روی یک تصویر مقادیر مختلطی حاصل می شود که این مقادیر نشان دهنده دامنه و فاز تصویر می باشند. غالب اطلاعات تصویر در بخش فاز حاصل از تبدیل فوریه قرار دارد و بخش ضرایب دامنه حاصل از تبدیل فوریه

اطلاعات کمی از تصویر را شامل می شوند. بنابراین درج واترمارک در حوزه تبدیل فوریه را می توان از دو منظر جاسازی واترمارک در بخش فاز و یا در بخش دامنه تصویر مورد بررسی قرار داد.

با توجه به اینکه تغییر در اجزاء مهم تصویر باعث تخریب در کیفیت تصویر می شود بنابراین اضافه شدن واترمارک در فاز تبدیل فوریه به منظور داشتن واترمارکی مقاوم مناسب به نظر می رسد و لذا هرگونه تلاشی از سوی دشمن به منظور حذف واترمارک، باعث تخریب مشهودی درکیفیت تصویر خواهد شد. از سوی بر اساس تئوری ارتباطات که تغییر در فاز نسبت به تغییر در دامنه حاصل از تبدیل فوریه را در برابر نویز دیگر مصون تر می داند، تغییر در ضرایب فاز به منظور درج واترمارک مناسب است. اضافه شدن واترمارک در فاز حاصل از تبدیل فوریه پیشنهاد شد.

اضافه شدن واترمارک در ضرایب دامنه حاصل از تبدیل فوریه که اطلاعات کمی از تصویر را در بردارد نمی تواند تحریف قابل درکی را در تصویر نشان دهد. با توجه به اهمیت مساله فشرده سازی، از یک الگوریتم فشرده ساز خوب انتظار می رود که اطلاعات مهمی از تصویر را ذخیره کند. بنابراین استفاده از دامنه حاصل از تبدیل فوریه به منظور درج واترمارک در برابر فشرده سازی آسیب پذیر خواهد بود. از سوی دیگر با توجه به داشتن ویژگی تغییرناپذیر بودن دامنه نسبت به انتقال و چرخش، واترمارک جاگذاری شده در دامنه نیز نسبت به انتقال و چرخش ثابت خواهد بود. بنابراین واترمارک جاسازی شده در مقابل حملات چرخش و انتقال مقاوم و غیر قابل تشخیص خواهد بود. برای اینکه واترمارک، بعد از اعمال تبدیل هندسی قابل شناسایی شود لازم به اجرای فرایندی شامل جستجوی وسیعی بر روی فضای بزرگی است که تمام فاکتورهای مقیاس و تمام زوایای چرخش ممکن را پوشش دهد.

تبدیل فوریه میلن، با استفاده از نگاشت لگاریتمی تبدیل فوریه حاصل می شود. نگاشت لگاریتمی از رابطه زیر بدست می آید:

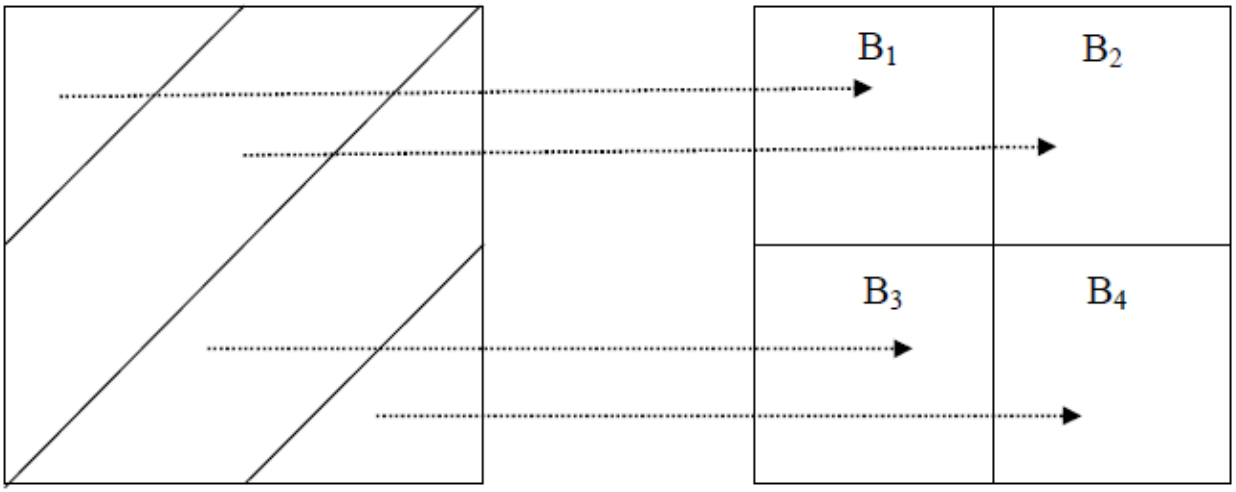
در این رابطه نگاشت یک به یکی بین (u,v) € R2 و$(\mu ,\theta)\epsilon R$ ($\mu \epsilon R ,\theta \epsilon (0,2\mu)$) برقرار است.Scaling و چرخش در فضای (u,v) به فضای (μ ,θ) تبدیل شده و در نهایت (μ ,θ) به حوزه دامنه تبدیل فوریه برای دستیابی به یک تبدیل غیر متغییر و مناسب برای جاسازی واترمارک تبدیل می گردد.

۲- روش های ترکیبی

الگوریتمهای اشاره شده در حوزه فرکانس نظیر DCT و SVD، اگر چه در مقابل حملات متعدد مقاومت بالایی دارند اما در تخریب کیفیت تصویر بسیار مستعد هستند. از طرفی الگوریتمهای حوزه DWT در برابر تخریب کیفیت تصویر مقاوم بوده ولی در مقابل حملات چندان مقاوم نیستند. بنابراین با توجه به موارد مطرح شده، با استفاده از ترکیب روشهای واترمارکینگ می توان به نتایج مطلوبتری دست یافت. به عبارت دیگر در روش های ترکیبی برای جاسازی واترمارک، از ترکیبی از دامنه ها یا روشهای مطرح شده، استفاده می شود تا واترمارکینگ حاصل، از مزایای روشهای ترکیب شده، بهره مندگردد. به طور مثال بهبود کارایی در الگوریتمهای واترمارکینگ در حوزه تبدیل ویولت می تواند به وسیله ترکیب تبدیل DWT با تبدیل DCT حاصل شود [۵].

نقش نیلچی و همکاران [۶] از ترکیب روشهای DWT و DCT برای الگوریتم واترمارکینگ خود استفاده نمودند. در این الگوریتم، آنها مجموعه ضرایب فرکانسهای میانی (LH_X و HL_X) تا سطح سوم تبدیل ویولت را انتخاب نموده و سپس بر روی ضرایب انتخاب شده تبدیل DCT با بلاکهای ٤×٤ اعمال نمودند. در این طرح با استفاده از سطوح خشن ویولت مساله غیر قابل رویت بودن واترمارک و با استفاده از تبدیل بلاکی ٤×٤ DCT، مساله مقاوم بودن واترمارک در برابر حملات را بهبود بخشیدند.

در تحقیق دیگری از ترکیب روشهای DWT، DCT و SVD برای بهبود الگوریتم واترمارکینگ استفاده گردید. در الگوریتم پیشنهادی اندازه تصویر N*N و اندازه واترمارک $\frac{N}{2} * \frac{N}{2}$ در نظر گرفته شده است. ابتدا بر روی تصویر تبدیل ویولت تا سطح دوم و سپس تبدیل DCT بر روی ضرایب HL_2 اعمال می شود. ضرایب DCT به چهار قسمت B_1, B_2, B_3, B_4 تقسیم می شوند (شکل ۵).



شکل ۵. نگاشت ضرایب DCT به چهار بلاک

حال SVD بر روی هر قسمت اعمال می شود. مشابه تصویر اصلی این فرایند بر روی واترمارک اعمال می گردد. در نهایت مقادیر ویژه در هر قسمت B_k با مقادیر ویژه حاصل از تبدیل DCT بر روی واترمارک تغییر می یابد. این عمل با استفاده از فرمول زیر صورت می گیرد.

$$\lambda_i^{*k} = \lambda_i^k + \alpha_k \lambda_{wi}, i = 1, \dots, n$$

بنابراین مقاومت الگوریتم به وسیله اعمال تبدیل DCT بر ضرایب ویولت باند HL افزایش می یابد. فرایند استخراج واترمارک نیز به همین صورت و با استفاده از رابطه زیر انجام می گیرد :

$$\lambda_{wi}^k = (\lambda_i^{*k} - \lambda_i^k)/\alpha_k, i = 1 \dots\dots, n$$

۳- نتیجه گیری:

پنهان سازی اطلاعات می تواند با استفاده از الگوریتم ها و روش های متعددی صورت پذیرد. یکی از روشهای پنهان سازی اطلاعات استفاده از حوزه تبدیلات است که در این بخش الگوریتم های واترمارکینگ را در حوزه فرکانسی مورد مطالعه قرار دهیم. الگوریتم های واترمارک DCT (Discrete Cosine Transform)، DWT (Discrete Wavelet Transform) و DFT (Discrete Fourier Transform) مورد بررسی قرار گرفت و روش ترکیبی مبتنی بر DWT، DCT و SVD به عنوان یک روش بهینه معرفی گردید.

منابع:

1. Zganesan1, K ., and Tarun Kumar Guptha,T . (2010). Multiple Binary Images Watermarking in Spatial and Frequency Domains, Signal & Image Processing : An International Journal(SIPIJ).
2. Cox, I.J., Miller, M. L., and Bloom J. A. (2001). Digital Watermarking: principles and practice. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc. pp. 105-112.
3. A.F.ElGamal, N.A.Mosa and W.K.ElSaid. (2013). Block-based Watermarking for Color Images using DCT and DWT. International Journal of Computer Applications. pp. 33-39.

4. Mrs. Rashmi Soni, Prof. M.K.Gupta. (2014). Digital Watermarking of Wavelet Transforms Based on Coding and Decoding Techniques. International Journal of Computer Science and Mobile Computing. pp. 1045-1051.
5. Hadhoud, M. M., Abdallah, H.A., Shaalan, A. A., and Abd El-samie, F. E. (2011). Blind Wavelet-Based Image Watermarking, International Journal of Signal Processing. Image Processing and Pattern Recognition March.
5. Piper, A. (2010). Scalable watermarking for images, in School of computer Science and Software Engineering,University of Wollongon,Doctor of philosophy thesis. pp. 44-51.
6. Amirgholipour, S.K., Naghsh-Nilchi and Ahmad R. (2009). Robust Digital Image Watermarking Based on Joint DWT-DCT. International Journal of Digital Content Technology and its Applications.