

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات
گروه هوش مصنوعی

عنوان پایان نامه ارشد
یک روش مقاوم الگوگذاری تصویر دیجیتال برپایه بازیابی تصویر
با استفاده از SIFT

سیما رشیدی

استاد راهنما

دکتر مرتضی زاهدی

استاد مشاور

دکتر حمید حسن پور

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات

گروه هوش مصنوعی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سیما رشیدی

تحت عنوان:

یک روش مقاوم الگوگذاری تصویر دیجیتال برپایه بازیابی تصویر با استفاده از sift

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : حمید حسن پور		نام و نام خانوادگی : مرتضی زاهدی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : علی بازقندی		نام و نام خانوادگی : علیرضا احمدی فرد
			نام و نام خانوادگی : علی اکبر پویان

تقدیم به مادر م به پاس تمام محبت‌هایش

تقدیم به پدر م به پاس تمام حمایت‌هایش

تقدیم به همسر م به پاس تمام صبوری‌هایش

تقدیر و تشکر

بر خود لازم می‌دانم که از همه کمک‌ها و راهنمایی‌های با ارزش استاد گرامی‌ام آقای دکتر زاهدی در طول سال‌های گذشته تشکر و قدردانی نمایم. بدون مساعدت‌های ایشان امکان انجام این پروژه میسر نبود.

تعهدنامه

اینجانب سیما رشیدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **یک روش مقاوم الگوگذاری تصویر دیجیتال برپایه بازیابی تصویر با استفاده از sift** تحت راهنمایی جناب آقای دکتر زاهدی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

مقاله ی استخراج شده:

Rashidi S., Zahedi M., (2012) “A Robust High Speed Digital Image Watermarking Scheme using High Frequency Band of Host Image”, **International Journal of Modern Engineering Research**.

چکیده

هر گونه پنهان سازی داده‌ها در درون یک محصول دیجیتال، مثل صدا، تصویر و ویدئو را به منظور دستیابی به اهدافی همچون حفظ حقوق مالک، ردیابی نسخه‌های غیرمجاز، جلوگیری از نسخه‌برداری غیرمجاز و ...، الگوگذاری می‌نامند. روشهای مختلف الگوگذاری در تصاویر، در حوزه‌های مختلفی تعریف شده‌اند. پرکاربردترین این حوزه‌ها، تبدیل کسینوس گسسته و تبدیل موجک گسسته هستند.

در این پایان نامه به معرفی این دو تبدیل و بررسی چند روش مطرح الگوگذاری که در این حوزه‌ها فعالیت می‌نمایند، خواهیم پرداخت. همچنین یک روش جدید الگوگذاری در حوزه‌ی تبدیل موجک گسسته معرفی خواهد شد. در این روش، الگو در درون ضرایب تبدیل موجک زیرتصویرهایی انتخابی از تصویر میزبان با استفاده از تکنیک تجزیه نقاط منفرد و تغییر نقاط منفرد تصویر اصلی و جایگزینی آن‌ها با مقادیر منفرد تصویر الگو، درج می‌شود.

علاوه بر آن یک روش مقاوم در برابر خرابی‌های ناشی از حملات هندسی بر روی تصویر ارائه کرده ایم که برای بازیابی تصویر خراب شده از نقاط مشخصه تصویر اصلی استفاده می‌نماید در این روش برای شناسایی نقاط مشخصه از تکنیک sift استفاده می‌کند. با این کار خطاهای همزمانی ناشی از حملات هندسی که جزء خطاهای رایج است، کاهش می‌یابند. فرایند درج الگو در حوزه تبدیل موجک گسسته بر روی هر زیر تصویر انجام می‌شود. در فرایند تشخیص الگو، تصویر ورودی بر اساس نقاط مشخصه‌ی ذخیره شده از مرحله درج الگو، بازیابی می‌گردد و سپس الگو از آن استخراج می‌شود. تشخیص نهایی الگو، نیز بر پایه تعداد بیت‌های منطبق شده بین الگوی استخراج شده و الگوی اصلی انجام می‌شود. و در نهایت با دو معیار ارزیابی شامل میزان شباهت تصویر اصلی و تصویر الگوگذاری شده و دوم میزان همبستگی نرمال شده برای بررسی میزان مقاومت روش الگوگذاری در برابر حملات هندسی، روش ارائه شده را مورد

ارزیابی قرار می‌دهیم. نتایج عملی حاصل شده از این روش بیانگر مقاومت بالای آن در مقابل حملات هندسی و پردازش‌های تصویر رایج است.

کلمات کلیدی

الگوگذاری، تبدیل کسینوس گسسته، تبدیل موجک گسسته، تجزیه نقاط منفرد، حملات هندسی، تبدیل ویژگی مقدار وابسته.

فهرست

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱ ساختار پایان نامه	۳
فصل دوم: مفاهیم اولیه الگوگذاری	۴
۱-۲ مقدمه	۵
۲-۲ الگوگذاری دیجیتال محصولات چندرسانه ای	۵
۳-۲ چرا به الگوگذاری احتیاج داریم؟	۸
۴-۲ معیارهای موجود برای مقایسه ی روش های مختلف الگوگذاری تصاویر	۱۲
۱-۴-۲ نامرئی بودن الگو	۱۲
۲-۴-۲ میزان مشابهت الگوی استخراج شده از تصویر با الگوی اصلی	۱۳
۳-۴-۲ احتمال اعلام مثبت غلط و منفی غلط	۱۴
۵-۲ حوزه های مختلف الگوگذاری در تصاویر دیجیتال	۱۵
۱-۵-۲ الگو گذاری در حوزه مکان	۱۵
۲-۵-۲ الگوگذاری در حوزه فرکانسی	۱۶
۶-۲ دسته بندی انواع حملات در الگوگذاری	۱۸
۱-۶-۲ حملات هندسی	۱۸
۲-۶-۲ دسته بندی روشهای ارائه شده برای مقابله با حملات هندسی	۱۹
۳-۶-۲ اثرات خرابی های هندسی	۲۰
۷-۲ مساله همزمانی	۲۱
۸-۲ نتیجه گیری	۲۱
فصل سوم: تکنیک های استفاده شده در الگوگذاری تصاویر دیجیتال	۲۲
۱-۳ مقدمه	۲۳
۲-۳ تبدیل موجک گسسته	۲۳
۱-۲-۳ تبدیل فوریه و مشکلات آن	۲۴
۲-۲-۳ تبدیل موجک	۲۵
۳-۳ sift	۳۱
۴-۳ تجزیه مقادیر منفرد	۳۲
فصل چهارم: مطالعه کارهای پیشین	۳۴

۳۵.....	۱-۴ مقدمه
۳۵.....	۲-۴ Geometrically Invariant Watermarking Using Feature Points (P.Bas و همکاران سال ۲۰۰۲)
۳۷.....	۱-۲-۴ روند درج الگو
۴۰.....	۲-۲-۴ روند تشخیص الگو
۴۳... ..	۳-۴ A Feature-based Robust Digital Image Watermarking Scheme (C.W. Tang و همکاران سال ۲۰۰۳)
۴۴.....	۱-۳-۴ استخراج ویژگی
۴۸.....	۲-۳-۴ نرمال سازی تصویر
۴۸.....	۳-۳-۴ درج الگو
۵۰.....	۴-۳-۴ استخراج الگو
۵۱.....	۴-۴ A Robust Content Based Digital Image Watermarking Scheme (X.QI و همکاران سال ۲۰۰۷)
۵۱.....	۱-۴-۴ روند درج الگو
۵۴.....	۲-۴-۴ روند تشخیص الگو
۵۸.....	فصل پنجم: یک روش مقاوم الگوگذاری تصویر دیجیتال برپایه بازیابی تصویر با استفاده از sift
۵۹.....	۱-۵ مقدمه
۵۹.....	۲-۵ پروسه ی الگو گذاری
۶۰.....	۱-۲-۵ درج الگو
۶۴.....	۲-۲-۵ بازیابی تصویر
۶۷.....	۳-۲-۵ استخراج الگو
۶۸.....	۴-۲-۵ نتایج تجربی
۷۸.....	فصل ششم: نتیجه گیری
۷۹.....	۱-۶ نتیجه گیری
۸۰.....	۲-۶ کارهای آتی
۸۲.....	منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۲-۱: روند کلی درج الگو در محصول چندرسانه‌ای ۷
- شکل ۲-۲: روند کلی تشخیص الگو از محصول چندرسانه‌ای ۷
- شکل ۲-۳: ضعف روش‌های امنیتی در جلوگیری از عرضه مجدد محصولات دیجیتال ۹
- شکل ۲-۴: ضعف روش‌های امنیتی در جلوگیری از دست‌کاری محصولات دیجیتال ۱۰
- شکل ۲-۵: ضعف روش‌های امنیتی در جلوگیری از جعل هویت ۱۱
- شکل ۳-۱: نحوه محاسبه تبدیل موجک سه مرحله‌ای ۲۸
- شکل ۳-۲: سیگنال‌های یک بعدی به دست آمده از یک نمونه سیگنال دوبعدی ۳۰
- شکل ۳-۳: نمایش سه مرحله تبدیل موجک بر روی یک تصویر و نمایش چهار زیرباند تولید شده ۳۰
- شکل ۳-۴: فضای مقیاس با استفاده از تابع و همسایگان یک پیکسل ۳۲
- شکل ۴-۱: تصاویر "lena"، "baboon" و "water" ۳۶
- شکل ۴-۲: نمایش چرخش رئوس یک مثلث با استفاده از تبدیلات ۳۹
- شکل ۴-۳: روند درج الگو با استفاده از روش مطرح شده توسط Bas و همکاران ۴۰
- شکل ۴-۴: روند تشخیص الگو با استفاده از روش مطرح شده توسط Bas و همکاران ۴۲
- شکل ۴-۵: تاثیر فیلتر وینر بر روی همبستگی ۴۲
- شکل ۴-۶: تاثیر موجک کلاه مکزیکی با مقیاس‌های مختلف ۴۶
- شکل ۴-۷: روند استخراج مشخصه با استفاده از موجک کلاه مکزیکی ۴۷
- شکل ۴-۸: روند درج الگو با استفاده از روش مطرح شده توسط Tang و همکاران ۵۰
- شکل ۴-۹: روند استخراج الگو با استفاده از روش مطرح شده توسط Tang و همکاران ۵۰
- شکل ۴-۱۰: دیاگرام درج الگو با استفاده از روش مطرح شده توسط Qi و همکاران ۵۴
- شکل ۴-۱۱: تاثیر شناساگر لبه‌ی هریس بر روی تصاویر مختلف ۵۴
- شکل ۴-۱۲: دیاگرام تشخیص الگو با استفاده از روش مطرح شده توسط Qi و همکاران ۵۵
- شکل ۴-۱۳: رابطه بین احتمال خطا و بیت‌های منطبق شده در یک زیر تصویر ۵۷

- ۵۹ شکل ۵-۱: تصویر میزبان اصلی و تصویر الگو
- ۶۱ شکل ۵-۲: نقاط تطبیق یافته با استفاده از sift
- ۶۳ شکل ۵-۳: فرایند درج الگو با استفاده از روش پیشنهادی
- ۶۳ شکل ۵-۴: مجموعه ضرایب موجک انتخاب شده روی تصویر اصلی در سه مرحله
- ۶۶ شکل ۵-۵: کارایی روش بازیابی تصویر تحت خرابی‌های هندسی متفاوت
- ۶۷ شکل ۵-۶: فرایند استخراج الگو با استفاده از روش پیشنهادی
- ۶۹ شکل ۵-۷: تصویر الگوگذاری شده و الگوی استخراج شده بدون اعمال حملات هندسی

فهرست جداول

- جدول ۵-۱: نتایج اجرا بر روی هر زیرباند فرکانسی بعد از استخراج الگو بدون اعمال حملات هندسی ۷۰
- جدول ۵-۲: نتایج اجرا بر روی تصویر Lena با اعمال حملات هندسی متفاوت ۷۱
- جدول ۵-۳: مقایسه نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی با نتایج چند الگوریتم دیگر ۷۶

فصل اول: مقدمه

هرگونه پنهان‌سازی داده‌ها^۱ در درون یک محصول دیجیتال، مثل صدا، تصویر، صوت و ... را به‌منظور دستیابی به اهدافی همچون اثبات مالکیت و حفاظت از حقوق مولف، ردیابی محصول برای پیداکردن کپی‌های غیرمجاز آن، نظارت بر پخش محصولات چندرسانه‌ای، تایید هویت و بررسی صحت تصاویر، کنترل استفاده و حفاظت در مقابل کپی، محافظت از محتوا، فهرست‌کردن و برچسب‌گذاری تصاویر و امنیت مستندات پزشکی و ...، الگوگذاری^۲ می‌نامند.

روش‌های مختلف الگوگذاری در تصاویر، در حوزه‌های مختلف فعالیت می‌نمایند. اولین روش‌های مطرح شده برای این کار، از حوزه مکان بهره می‌بردند. هر گونه دست‌کاری پیکسل‌ها در حوزه مکان، می‌تواند روشی برای درج الگو باشد. مهم‌ترین برتری الگوگذاری در حوزه مکان، سادگی آن است. این‌گونه روش‌ها در مقایسه با روش‌های دیگر، زمان پیاده‌سازی کوتاه‌تر و نیازهای سخت‌افزاری کمتری دارند. اما از نظر ظرفیت، الگوهای حوزه‌ی مکان دارای ظرفیت الگوگذاری کمتری نسبت به الگوریتم‌های حوزه‌ی تبدیل می‌باشند.

مهم‌ترین حوزه‌های استفاده‌شده برای الگوگذاری تصاویر، تبدیل کسینوس گسسته^۳ و تبدیل موجک گسسته^۴ هستند. روش پیشنهادی در این پایان نامه نیز در حوزه تبدیل موجک گسسته ارائه شده است.

در مقابل، حملات بسیاری وجود دارد که می‌تواند الگوگذاری را به خطر بی‌اندازد. در میان این حملات، حملات هندسی^۵ یکی از مهم‌ترین و چالش‌برانگیزترین حملات هستند. علت اصلی مهم‌بودن این حملات، تولید خطاهای همزمانی^۶ است که حفظ مقاومت الگوگذاری در برابر این خطاها بسیار دشوار است. لذا در این پایان‌نامه چندین روش الگوگذاری مقاوم در برابر این حملات که تا کنون ارائه شده‌است را مطرح می‌نماییم و در ادامه به بررسی روش پیشنهادی الگوگذاری مقاوم در حوزه موجک بر پایه بازیابی تصویر با

^۱ Data Hiding

^۲ Watermarking

^۳ Discrete Cosine Transform (DCT)

^۴ Discrete Wavelet Transform (DWT)

^۵ Geometric Attacks

^۶ Synchronization Errors

استفاده از sift خواهیم پرداخت. این روش قبل از درج الگو، با استفاده از sift، مجموعه‌ای از نقاط مشخصه تصویر را استخراج می‌نماید. از بین نقاط استخراج شده، به علت تعداد و نحوه ی توزیع آنها که وابسته به محتوا و بافت تصویر است همه‌ی آنها مناسب الگوگذاری نیستند [۱] و برای بازیابی تصویر به نقاط پایدارتری احتیاج است پس از بین آنها گزینش انجام می‌دهیم. سپس عمل درج الگو را با استفاده از تبدیل موجک گسسته سه سطحی در بلوک‌هایی از مرکز تصویر انجام می‌دهیم و پس از اعمال تکنیک تجزیه مقادیر منفرد^۱ بر روی زیرباند انتخابی و الگو، الگو را در تصویر اصلی، درج می‌نماییم. در مرحله بعدی قبل از تشخیص الگو، توصیفگرهای sift به منظور بازیابی تخمینی از تصویر اصلی، استخراج می‌شوند. سپس با قرار دادن سه جفت نقطه ی ویژگی منطبق شده از دو تصویر در ماتریس همگن و حل آن تبدیل اعمال- شده را پیدا کرده و تصویر اصلی تخمین زده می‌شود و سپس در صورت وجود الگو از آن استخراج می- گردد.

۱-۱ ساختار پایان نامه

ادامه‌ی این پایان‌نامه در ۵ فصل گردآوری شده است. در فصل دوم به معرفی مفاهیم اولیه در زمینه‌ی الگوگذاری و بررسی حوزه‌های مختلف، انواع حملات هندسی و روش‌های مقابله با آنها خواهیم پرداخت. در فصل سوم، به معرفی تکنیک‌های استفاده شده در این پایان‌نامه می‌پردازیم. در فصل چهارم، به بررسی کارهای گذشته که از روش برپایه ویژگی برای افزایش مقاومت الگو در برابر حملات هندسی استفاده کرده‌اند، خواهیم پرداخت. فصل پنجم به معرفی روش پیشنهادی برای الگوگذاری مقاوم در برابر حملات هندسی برپایه ی ویژگی و بررسی نتایج عملی حاصل از این روش اختصاص دارد. در نهایت فصل ششم به بحث و نتیجه‌گیری و همچنین ارائه پیشنهاداتی برای ادامه کار در این زمینه خواهد پرداخت.

^۱ Singular Values Decomposition (SVD)

فصل دوم: مفاهیم اولیه الگوگذاری

۲-۱ مقدمه

در این فصل به معرفی مفاهیم اولیه‌ی موجود در مورد الگو گذاری و روش‌ها و طبقه‌بندی‌های مختلف آن خواهیم پرداخت.

۲-۲ الگو گذاری دیجیتال محصولات چند رسانه‌ای

امروزه رشد روزافزون تکنولوژی ارتباطات و شبکه‌های کامپیوتری و عرضه‌ی محصولات چند رسانه‌ای در شبکه، باعث نگرانی تولیدکنندگان این محصولات از فعالیت‌های غیرمجازی چون دستکاری محصولات و یا عرضه‌ی مجدد آن‌ها شده‌است. این موضوع نیاز به روش‌هایی برای حفظ داده‌های دیجیتال در مقابل کپی‌ها و یا دستکاری‌های غیرمجاز را بیش از پیش مطرح می‌سازد. چنین مشکلاتی برای محصولات آنالوگ مثل نوارهای صوتی و یا تصویری زیاد حاد به‌نظر نمی‌رسید، زیرا محصولات کپی یا دستکاری شده‌ی آنالوگ کیفیت پایین‌تری از محصولات اولیه دارند و این موضوع تا حدودی مانع عرضه‌ی تجاری مجدد این محصولات در ابعاد وسیع می‌شود. اما در مورد محصولات دیجیتال چنین محدودیتی وجود ندارد چون کپی یک محصول دارای کیفیتی برابر با محصول اولیه می‌باشد. لذا بررسی رعایت حق کپی و شرایط استفاده از این محصولات، کاری بسیار مشکل است و عملاً هیچ مکانیسمی برای تعقیب کپی‌های غیرمجاز و یا محصولات دستکاری شده وجود ندارد. چنین مسایلی با استفاده از روش‌های موجود برای امنیت داده‌ها مثل روش رمزنگاری قابل حل نیستند.

یکی از راه‌حل‌های موجود برای حل چنین مسایلی، درج ساختارهای غیرمحمسوس در درون داده‌های موجود در محصولات دیجیتال جهت نگهداری اطلاعاتی در مورد مالک محصول می‌باشد. به چنین ساختارهایی الگوهای دیجیتال^۱ گفته می‌شود. الگوهای دیجیتال می‌توانند حاوی اطلاعاتی همچون حق

^۱ Digital watermarks

کپی و یا کداعتبار محصول باشند. وجود الگو در محصول فقط و فقط توسط تشخیص دهنده‌ی مخصوص همان الگو قابل بررسی می‌باشد.

این راه حل زمانی موثر است که الگوی درج شده در محصول دارای خصوصیات زیر باشد [۲]:

- ۱- نامحسوس^۱ باشد: بدان معنا که درج الگو در محصول باعث بروز تغییرات محسوس نگردد. به‌عنوان مثال اگر محصول موردنظر تصویر است، درج الگو باعث تغییرات قابل مشاهده در تصویر نگردد.
- ۲- محتاط باشد: بدان معنا که دیگر الگوریتم‌های تشخیص الگو توان استخراج الگوی درج شده در محصول را نداشته باشند. به‌بیان دیگر مکان و مقادیر عناصر الگو از دید اشخاص غیرمجاز پنهان باشد.
- ۳- به‌آسانی قابل استخراج باشد: یعنی اشخاص مجاز به‌سادگی و با اطمینان بتوانند الگوی درج شده در محصول را استخراج نمایند.
- ۴- در مقابل حملات غیرعمدی^۲، مقاوم^۳ باشد: به این معنا که الگو در اثر حملات معمول روی محصول بدون تغییر باقی بماند. به‌عنوان مثال در مورد محصولات تصویری، حملات معمول می‌تواند انواع فشرده‌سازی‌ها و یا تبدیلاتی همچون برش، چرخش، تغییر اندازه و ... باشد.
- ۵- در مقابل حملات عمدی^۴، شکننده^۵ باشد: یعنی الگو در اثر حملاتی همچون دستکاری‌های غیر مجاز در محتوای محصول دچار تغییراتی شود تا در زمان تشخیص الگو، بتوان به ماهیت دستکاری و محل‌های دستکاری شده در محصول پی‌برد. یا حداقل بتوان غیرمعتبر بودن محتوای محصول را کشف نمود.

^۱ Imperceptibility

^۲ Incidental Attack

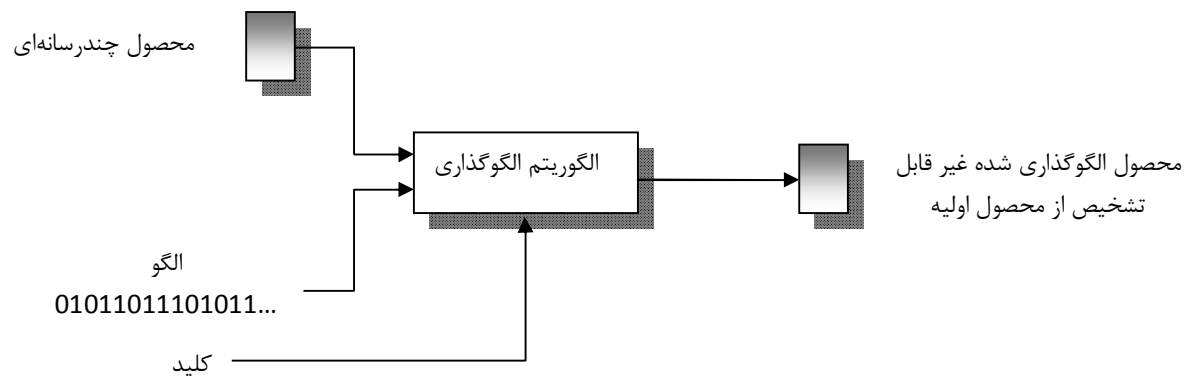
^۳ Robust

^۴ Intentional

^۵ Fragile

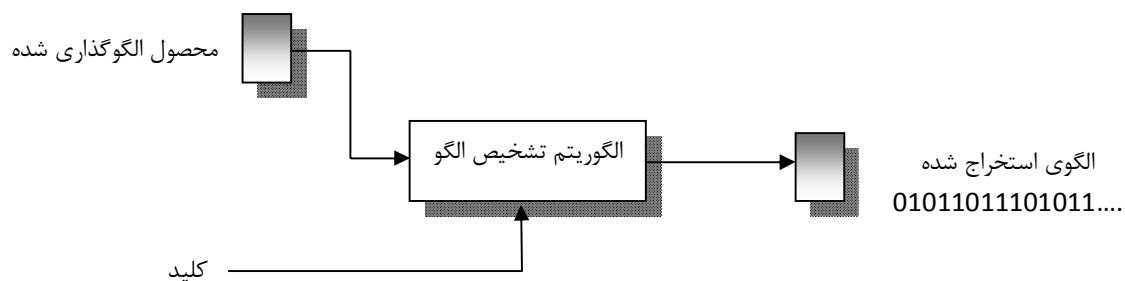
البته خصوصیات ذکر شده در ردیف‌های ۴ و ۵ وابسته به کاربرد الگو و هدف از درج آن، می‌توانند متغیر باشند.

شکل‌های ۱-۲ و ۲-۲ عملیات الگوگذاری را در حالت کلی نمایش می‌دهند.



شکل ۱-۲: روند کلی درج الگو در محصول [۳]

الگو با استفاده از یک کلید و به وسیله اعمال تغییرات غیرمحسوس در محصول درج می‌گردد.



شکل ۲-۲: روند کلی تشخیص الگو [۳]

با استفاده از کلید، الگو از محصول الگوگذاری شده که تحت حملات احتمالی نیز قرار گرفته، استخراج می‌گردد.

الگو غالباً دنباله‌ای از مقادیر دودویی است، با استفاده از یک مقدار کلید، در درون محصول مورد نظر درج می‌گردد همچنین الگو می‌تواند یک تصویر دیجیتال باشد. این عملیات درج الگو، باعث اعمال تغییرات نامحسوسی در محصول دیجیتال می‌گردد. محل اعمال، نوع و شدت این تغییرات تابعی است از کلید و دنباله‌ی الگو. این روند درج الگو، محصول را به گونه‌ای تغییر می‌دهد تا در آینده بتوان با استفاده از کلیدی یکسان، الگوی درج شده را به راحتی استخراج نمود. به این عملیات نیز، استخراج یا تشخیص الگو گفته

می‌شود. مساله‌ی اصلی در طراحی یک سیستم الگوگذاری، نحوه‌ی درج الگو در محصول، برای ارضای هر چه بیشتر شروط ذکر شده می‌باشد. برای کاربردهایی همچون حفظ حق کپی، الگو می‌بایست حتی از تصویر الگوگذاری شده‌ای که تحت تاثیر حملاتی چون کاهش کیفیت و فشردگی (تا سطحی قابل قبول) قرار گرفته است، به درستی استخراج گردد و در کاربردهایی مثل بررسی صحت محصول، الگوی استخراج شده می‌بایست مبین هرگونه دستکاری و یا تغییر در محصول الگوگذاری شده باشد.

وظیفه‌ی کلید در عملیات درج و تشخیص الگو، حفظ امنیت سیستم و عدم دسترسی دیگران به الگوی درج شده در محصول می‌باشد. بدون آگاهی از مقدار کلید، تشخیص یا حذف الگو از محصول الگوگذاری شده، میسر نخواهد بود.

سیستم‌های الگو گذاری، برخلاف آنچه در رمزنگاری انجام می‌شود، برای جلوگیری از اعمال عملیات غیرمجاز روی محصول، دسترسی به محتوای محصول را محدود نمی‌نمایند. بلکه بعد از اعمال چنین عملیاتی روی محصول، شواهدی دال بر اعمال عملیات انجام شده ارائه می‌دهند. این روش مشابه همان عملیاتی است که مراجع قانونی در جوامع انسانی انجام می‌دهند و پس از انجام جرم به جستجو برای یافتن شواهدی جهت اثبات آن می‌پردازند. لذا ایجاد شواهد پس از انجام جرم، می‌تواند مانعی برای جلوگیری از اعمال جرم باشد.

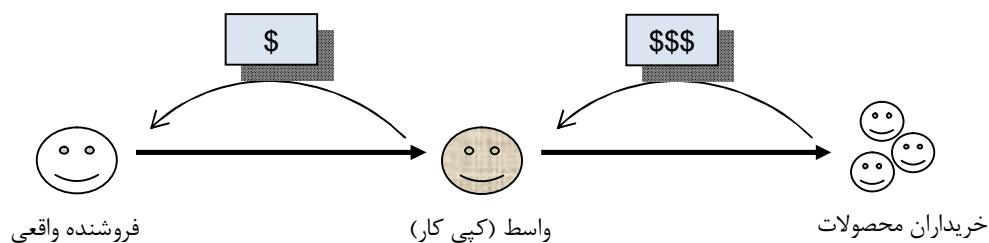
اگرچه امروزه کاربردهای متنوعی از سیستم‌های الگوگذاری در صنعت وجود دارد، هنوز این شاخه از علم در ابتدای مسیر خود قرار دارد و با پیشرفت روزافزون تکنولوژی نیاز به سیستم‌های الگوگذاری پیشرفته‌تر، روز به روز بیشتر احساس خواهد شد.

۲-۳ چرا به الگوگذاری احتیاج داریم؟

در این بخش به بررسی کاربردهای اصلی سیستم‌های الگوگذاری خواهیم پرداخت. شکل‌های ۲-۳ تا ۲-۵ سه سناریوی مطرح در سیستم‌های امنیتی موجود را نشان می‌دهند. در ادامه به بررسی مختصر هر کدام

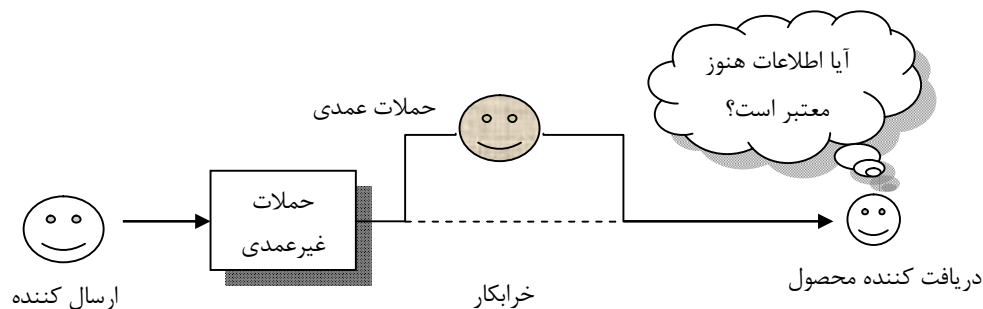
از این سناریوها خواهیم پرداخت و نقایص سیستم‌های امنیتی موجود را به‌ازای هرکدام از این سناریوها مرور خواهیم نمود.

اولین سناریوی موجود، مساله کپی‌های غیرمجاز و عرضه‌ی مجدد محصولات دیجیتال می‌باشد. سهولت کپی نمودن محصولات دیجیتال، توانایی ایجاد کپی‌هایی کاملاً مشابه با اصل محصول و افزایش روزافزون عرضه‌ی محصولات دیجیتال، باعث حاد شدن چنین مساله‌ای شده است. سناریوی مطرح شده در ۲-۳ نشان دهنده‌ی این مساله است. فروشنده محصول، محصول چندرسانه‌ای خود را به واسط می‌فروشد. اگرچه امکان امن ارسال محصول به واسط از طریق روش‌های رمزگذاری موجود فراهم شده است، اما هنوز هیچ مکانیسمی برای جلوگیری از کپی کردن محصول و فروش مجدد آن توسط واسط وجود ندارد. لذا نیاز است به یک سیستم امنیتی دیگر جهت حفظ حقوق فروشنده و مالک واقعی محصول احساس می‌گردد.



شکل ۲-۳: ضعف روش‌های امنیتی موجود در جلوگیری از عرضه‌ی مجدد محصولات دیجیتال. فروشنده واقعی محصول چندرسانه‌ای خود را به واسط می‌فروشد. روش‌های امنیتی موجود تنها امکان ارسال امن اطلاعات از فروشنده واقعی به واسط را فراهم می‌آورد و هیچ مکانیسمی برای جلوگیری از عرضه‌ی مجدد محصول توسط واسط وجود ندارد [۴].

سناریوی دوم، در مورد دست‌کاری‌های غیرمجاز در محصولات دیجیتال مطرح شده است. روش‌های امنیتی موجود، توانایی ممانعت از دست‌کاری محصول توسط اشخاص غیرمجاز را ندارند. این سناریو در شکل ۲-۴ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۲-۴: ضعف روش‌های امنیتی موجود در جلوگیری از دستکاری در محصولات دیجیتال.
دریافت کننده محصول توانایی تشخیص تاثیر حملات عمدی از غیر عمدی را ندارد [۴].

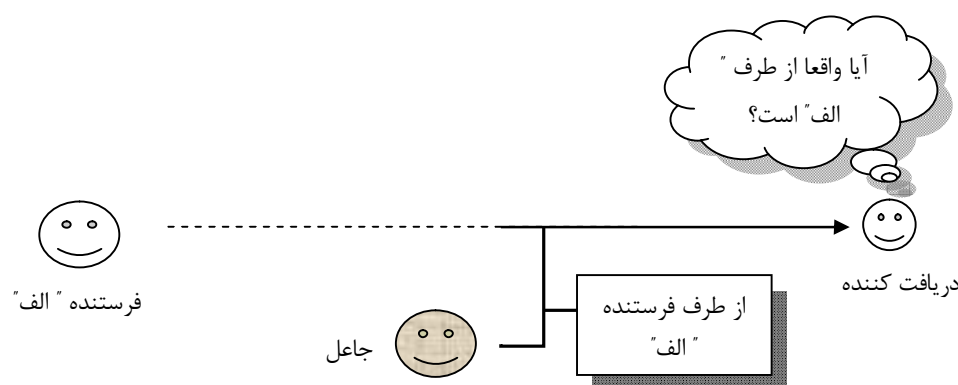
در این سناریو، ارسال کننده اطلاعاتی را در قالب یک سیگنال دیجیتال برای دریافت کننده ارسال می‌نماید. سیگنال ارسالی، قبل از رسیدن به دریافت کننده تحت تاثیر حملات غیر عمدی چون فشرده‌سازی، نویز و ... قرار می‌گیرد. اگر چه دریافت کننده می‌تواند به نوعی پی به پیام ارسالی از طرف دریافت کننده ببرد، اما نمی‌تواند از عدم دستکاری سیگنال توسط اشخاصی که به آن دسترسی داشته‌اند (مثل واسط خرابکار) مطمئن گردد. روش‌های اعتبارسنجی^۱ موجود، سیگنال مربوطه را به تابع غیرقابل بازگشت (مثل توابع درهم سازی)^۲ می‌دهند و خروجی تابع که دنباله‌ای از بیت‌ها خواهد بود را به عنوان امضای دیجیتال^۳ همراه با سیگنال اصلی برای گیرنده ارسال می‌نمایند. گیرنده‌ی اطلاعات نیز سیگنال دریافت شده را به تابع درهم سازی مشابهی می‌دهد و نتیجه را با امضای ارسال شده مقایسه می‌نماید. در صورت برابری این دو، اطلاعات ارسال شده معتبر می‌باشند، اما در غیر این صورت، احتمال بروز دستکاری در اطلاعات ارسالی وجود دارد. دریافت کننده نمی‌تواند بین حملات عمدی و غیر عمدی ایجاد شده روی سیگنال تمایزی قایل شود. در هر دو حالت، اطلاعات و امضای ارسال شده با هم مطابقتی نخواهند شد. لذا به سیستم امنیتی دیگری نیاز است تا بین تاثیر حملات عمدی و غیر عمدی تمایز قایل شود.

^۱ Authentication

^۲ Hash Function

^۳ Digital Signature

شکل ۲-۵ سومین سناریو را به تصویر کشیده است. در این سناریو، مساله‌ی مطرح شده، مساله‌ی جعل هویت است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، جعل کننده اطلاعاتی را برای دریافت کننده ارسال می‌نماید. برای اثبات هویت فرستنده‌ی اطلاعات، داده‌های کدشده‌ی اضافه‌ای همراه با سیگنال اصلی ارسال می‌گردد. اما از آن‌جا که داده‌های چند رسانه‌ای تحت تاثیر تبدیلات مختلفی چون تغییر قالب^۱ یا فشرده سازی قرار می‌گیرند امکان از بین رفتن داده‌های اثبات کننده‌ی هویت فرستنده وجود دارد. در چنین حالاتی دریافت کننده نمی‌تواند مطمئن شود که اطلاعات دریافت شده واقعا از طرف فرستنده "الف" بوده است یا خیر؟ در چنین حالاتی نیز احتیاج به روش دیگری است تا هویت فرستنده را بدون هیچ شک و شبهه‌ای احراز نماید و یا قطعا عدم اعتبار اطلاعات دریافت شده را اعلام نماید.



شکل ۲-۵: ضعف روش‌های امنیتی موجود در جلوگیری از جعل هویت [۴].

از آن‌جا که داده‌های مربوط به اعتبارسنجی به‌عنوان اطلاعات اضافه ارسال می‌گردند، ممکن است در اثر فشرده‌سازی یا تغییر قالب از سیگنال ارسالی حذف شوند. در چنین حالاتی سینه نمی‌تواند هویت فرستنده را شناسایی کند.

برای جبران کاستی‌های ذکر شده در مورد روش‌های امنیتی موجود، روش‌های الگوگذاری متنوعی ارایه شده است. در این روش‌ها، داده‌های حاوی حق کپی یا مشخصات مالک محصول، در دل خود محتوای محصول دیجیتال (و نه به عنوان داده‌های اضافی همراه با آن) درج می‌گردد. لذا تا زمانی که محتوای

^۱ Format Conversion

اصلی محصول دیجیتال تحت تاثیر دستکاری‌های عمدی قرار نگیرد، الگوی موجود در آن نیز به قوت خود باقی مانده و قابلیت تشخیص هویت مالک یا فرستنده‌ی محصول وجود دارد. مسلماً الگوگذاری محدود به موارد ذکر شده در بالا نیست و کاربردهای بسیار متنوعی را برای این تکنولوژی می‌توان نام برد. عمده‌ی این کاربردها به چهار گروه کلی قابل تقسیم هستند [۵]:

۱- حفظ حق کپی

۲- درج اطلاعات اضافه و مخفی

۳- جلوگیری از دست‌کاری و اعتبارسنجی

۴- ارتباطات مخفی^۱

۲-۴ معیارهای موجود برای مقایسه‌ی روش‌های مختلف الگوگذاری تصاویر

از آن‌جا که در این پایان‌نامه، تمرکز روی روش‌های مقاوم الگوگذاری تصاویر دیجیتال می‌باشد، لذا از این مرحله به‌جای مجموعه‌ی کلی محصولات دیجیتال، زیرمجموعه‌ی تصاویر دیجیتال را مورد مطالعه قرار خواهیم داد.

برای مقایسه‌ی روش‌های مختلف الگوگذاری در تصاویر دیجیتال، مقیاس‌های مختلفی وجود دارد که در این بخش به بررسی اهم این مقیاس‌ها خواهیم پرداخت.

۲-۴-۱ نامرئی بودن الگو

نامرئی بودن الگو در درون تصاویر بدان معناست که یک فرد عادی با نگاه کردن به دو تصویر اولیه و الگوگذاری‌شده نتواند بین آن دو تمایزی قایل شود. اما چنین خصوصیتی اولاً زیاد دقیق نیست و ثانیاً امکان مقایسه‌ی روش‌های مختلف الگوگذاری را فراهم نمی‌آورد. به همین منظور مجبور هستیم رابطه‌ای جبری برای این خصوصیت تعریف نماییم.

^۱ Covert Communication

مقیاسی که در اکثر مقالات به آن اشاره می‌شود، «نسبت بیشینه‌ی سیگنال به نویز»^۱ است. این مقیاس نشان‌دهنده‌ی میزان نویز اضافه شده به تصویر در اثر درج الگو به آن می‌باشد. اگر چه این پارامتر دقیقاً مطابق با خاصیت نامرئی بودن بصری الگو در تصویر نیست، اما رابطه‌ی جبری مناسبی برای بهینه‌گی پنهان شدن اطلاعات در تصویر ارایه می‌دهد. تعریف این پارامتر به شرح زیر است:

$$PSNR(f, w) = 10 \log_{10} \left[\frac{\max_{m,n} f^2(m,n)}{\frac{1}{N_f} \sum_{m,n} (f_w(m,n) - f(m,n))^2} \right] \quad (1-2)$$

رابطه‌ی ۱-۲ میزان «نسبت بیشینه‌ی سیگنال به نویز» را در واحد دسی‌بل^۲ ارایه می‌نماید. در این رابطه، f سیگنال تصویر اولیه، w الگوی درج‌شده، f_w سیگنال تصویر الگوگذاری شده، (m, n) اندیس پیکسل-های تصاویر و N_f تعداد پیکسل‌های موجود در تصاویر f و f_w را نشان می‌دهند. هر چه مقدار این پارامتر بیشتر باشد، توانایی روش در پنهان نمودن الگو در تصویر بیشتر است. غالباً مقادیر بالای ۴۰ دسی‌بل مقادیر قابل قبولی برای این پارامتر محسوب می‌شوند.

۲-۴-۲ میزان شباهت الگوی استخراج شده از تصویر با الگوی اصلی

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، تصویر الگوگذاری شده ممکن است تحت تاثیر حملات عمدی و غیرعمدی مختلفی قرار گیرد. در اثر این حملات امکان استخراج الگویی غیر از الگوی درج شده در تصویر وجود دارد. لذا احتیاج به یک مقیاس جهت محاسبه‌ی میزان شباهت این دو الگو احساس می‌شود. هرچه میزان شباهت دو الگو بیشتر باشد، مقاومت روش الگوگذاری در مقابل حملات صورت گرفته بیشتر خواهد بود، و هرچقدر شباهت کمتر باشد، شکنندگی روش در مقابل حملات انجام شده بیشتر است. یکی از این نوع پارامترها، میزان «ضریب همبستگی»^۳ دو الگو می‌باشد. تعریف این پارامتر به شرح زیر است:

^۱ PSNR (Peak Signal To Noise Ratio)

^۲ dB

^۳ Correlation Coefficient

$$\rho(w, \hat{w}) = \frac{\sum_{i=1}^{N_w} w(i) \cdot \hat{w}(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_w} w^2(i)} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{N_w} \hat{w}^2(i)}} \quad (2-2)$$

در این رابطه، $\hat{w}(i)$ و $w(i)$ به ترتیب الگوی درج شده و الگوی استخراج شده و N_w اندازه‌ی دنباله‌ی الگو می‌باشد.

پارامتر دیگری که برای بررسی میزان شباهت دو الگو استفاده می‌شود، «ضریب همبستگی متقابل نرمال شده»^۱ می‌باشد. این پارامتر نیز به شرح زیر تعریف می‌گردد:

$$NC(w, \hat{w}) = \frac{\sum_{i=1}^{N_w} w(i) \cdot \hat{w}(i)}{\sum_{i=1}^{N_w} w^2(i)} \quad (3-2)$$

در این رابطه نیز همانند رابطه‌ی ۲-۲، $\hat{w}(i)$ و $w(i)$ به ترتیب الگوی درج شده و الگوی استخراج شده و N_w اندازه‌ی دنباله‌ی الگو می‌باشد. لازم به ذکر است که در این رابطه، مقادیر دنباله‌ی دودویی الگو $\{1\}$ و $\{-1\}$ فرض شده‌اند.

۲-۴-۳ احتمال اعلام مثبت غلط^۲ و منفی غلط^۳

در بعضی از کاربردهای الگوگذاری، وظیفه‌ی واحد تشخیص الگو، اعلام وجود یا عدم وجود الگوی معرفی شده در درون یک تصویر است. حال زمانی که الگوی معرفی شده در تصویر مورد نظر وجود نداشته باشد و واحد تشخیص الگو، به غلط وجود الگو در تصویر را اعلام نماید، «اعلام مثبت غلط» روی داده است. همچنین زمانی که الگوی معرفی شده در تصویر موجود باشد و واحد تشخیص به وجود آن پی نبرد و به اشتباه عدم وجود الگو در تصویر را اعلام نماید، «اعلام منفی غلط» رخ داده است. محاسبه‌ی احتمال بروز این دو اشتباه برای روش‌های مختلف به صورت تحلیلی انجام می‌شود و روش‌هایی که این دو احتمال برای آن‌ها کمتر محاسبه می‌شود، روش‌های دقیق‌تری خواهند بود.

^۱ Normalized Cross-Correlation

^۲ False Positive

^۳ False Negative

۲-۵ حوزه‌های مختلف الگوگذاری در تصاویر دیجیتال

الگوگذاری در تصاویر دیجیتال با روش‌های بسیار متنوعی انجام شده است. یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی که می‌توان این روش‌ها را از طریق آن طبقه‌بندی نمود، حوزه مورد استفاده در این روش‌ها می‌باشد. در ادامه‌ی این بخش به طور مختصر به مهم‌ترین حوزه‌های مورد استفاده در این روش‌ها اشاره خواهد شد.

۲-۵-۱ الگو گذاری در حوزه مکان^۱

هر گونه دستکاری در مقادیر پیکسل‌ها، اعم از تکنیک‌های جمع‌کننده^۲ و یا کوانتیزاسیون^۳ می‌تواند روشی برای درج الگو در تصویر باشد. به عنوان مثالی از این روش‌ها، در [۶] یک الگوریتم الگوگذاری در حوزه مکان که تصویر را به بلوک‌هایی تقسیم می‌نماید و هر بلوک براساس مقدار کنتراست آن بلوک الگوگذاری می‌شود. در [۷]، [۸] و [۹] نیز روش‌های الگوگذاری دیگری در حوزه‌ی مکان ارائه شده‌است. مهم‌ترین برتری الگوگذاری در حوزه‌ی مکان، سادگی آن است. این‌گونه روش‌ها در مقایسه با روش‌های دیگر، زمان پیاده‌سازی الگوریتم کوتاه‌تر و نیازهای سخت‌افزاری کمتری دارند. از نظر ظرفیت، الگوریتم‌های حوزه مکان دارای ظرفیت پنهان‌سازی کمتری نسبت به الگوریتم‌های حوزه‌های تبدیل می‌باشند. همچنین در حالت کلی می‌توان ادعا نمود که مقاومت این‌گونه روش‌ها در مقابل حملات مثل فشردن و یا نویز به مراتب کمتر از مقاومت روش‌های حوزه‌های تبدیل می‌باشد. به همین دلیل پس از مطرح شدن ایده‌های الگوگذاری در حوزه‌های تبدیل، حجم مطالعه روی این نوع روش‌ها به شدت کاهش پیدا نمود.

^۱ Spatial Domain

^۲ Additive

^۳ Quantization

۲-۵-۲ الگوگذاری در حوزه فرکانسی

۲-۵-۲-۱ تبدیل فوریه (DFT)

در مقایسه با تمامی تبدیلات فرکانسی استفاده شده، تبدیل فوریه کمترین استفاده را در الگوگذاری داشته است. مهم‌ترین خاصیت این تبدیل، مستقل بودن نسبت به شیفت مکانی است. تبدیل فوریه امکان الگوگذاری در فاز و اندازه‌ی ضرایب را فراهم می‌آورد. نتایج بررسی‌ها در [۱۰] نشان داده است که فاز ضرایب فوریه تصویر نسبت به اندازه آن‌ها دارای ارزش بیشتری است. لذا درج الگو در مولفه‌های مهم فاز، مفیدتر است. چرا که هرگونه تغییر در تصویر الگوگذاری شده، به‌منظور برداشتن الگو، اعوجاج زیادی در تصویر ایجاد می‌نماید. مدولاسیون فاز در مقایسه با مدولاسیون حوزه اغلب دارای امنیت بیشتری در برابر نویز است، همچنین ضرایب فاز در مقابل تغییرات کنتراست تصویر نیز مقاوم هستند [۱۰]. مهم‌ترین نقطه‌ی ضعف این تبدیل برای الگوگذاری، مختلط بودن ضرایب آن است. پس از تغییر فاز یا حوزه و محاسبه‌ی تبدیل فوریه معکوس (IDFT)، تصویر حاصل باید مقادیر حقیقی داشته باشد. در حقیقت باید رابطه‌ی تقارن مزدوج مختلط^۱ برای ضرایب فوریه‌ی تصویر الگوگذاری شده رعایت شود. این مساله‌ی تقارن در حقیقت فضای الگوگذاری را نصف نموده و ظرفیت را کاهش می‌دهد [۱۰].

از دیگر خصوصیات حوزه‌ی تبدیل فوریه در الگوگذاری، می‌توان به مقاومت بالا در برابر حملات چرخش، تغییر اندازه و شیفت اشاره نمود. در [۱۱] روشی برای الگوگذاری ارائه شده است که داده‌های الگوی کدشده را داخل حوزه‌ی ضرایب فرکانس‌های میانی تصویر تعبیه می‌نماید. در [۱۰] مدولاسیون فاز نیز بررسی شده است. در [۱۲] و [۱۳] نیز روش‌های دیگری برای الگوگذاری در حوزه‌ی تبدیل فوریه پیشنهاد شده است.

^۱ Complex Conjugate Symmetry

۲-۵-۲ الگوگذاری در حوزه تبدیل کسینوس گسسته (DCT)

تبدیل کسینوس گسسته به طور وسیعی در سیستم‌های الگوگذاری استفاده می‌شود، چرا که الگوریتم‌های متعارف فشرده سازی JPEG و MPEG براساس این تبدیل کار می‌کنند. با کمک گرفتن از مکانیزم فشرده سازی JPEG در ساختار بخش قراردندهی الگو در تصویر، روش الگوگذاری می‌تواند در برابر حمله‌ی فشرده سازی JPEG مقاوم‌تر گردد. دلیل دیگر استفاده از تبدیل کسینوس گسسته، مطالعه گسترده در زمینه‌ی مدل‌های بینایی در این حوزه است [۱۴] که می‌تواند برای وفقی نمودن روش الگوگذاری با تصویر اصلی انجام شود [۱۵].

۲-۵-۳ الگوگذاری در حوزه تبدیل موجک گسسته (DWT)

تبدیل موجک به طور گسترده‌ای در دهه‌ی اخیر مورد استفاده قرار گرفته‌است. کاربردهای زیادی از این تبدیل مانند فشرده‌سازی، آنالیز و پردازش سیگنال وجود دارد. ایده‌ی اساسی در تبدیل موجک برای سیگنال یک بعدی به این صورت است، سیگنال حوزه‌ی زمان (یا مکان) به دو قسمت فرکانس بالا (باند جزییات) و فرکانس پایین (باند تقریب) تقسیم می‌شود. تغییرات لبه در سیگنال، در بخش فرکانس بالا ظاهر می‌شوند. هر قسمت دوباره می‌تواند به دو قسمت فرکانس بالا و فرکانس پایین تقسیم شود. این فرایند می‌تواند تا هر سطحی که لازم باشد ادامه پیدا کند. برای اعمال این تبدیل روی سیگنال‌های دو بعدی مثل تصاویر، کافی است تبدیل یک بعدی موجک را یکبار روی ردیف‌ها و سپس روی ستون‌ها اعمال نماییم.

سیستم‌های الگوگذاری که در این حوزه فعالیت می‌کنند، دارای مزایای زیادی هستند که مهم‌ترین آنها انطباق بیشتر آن با سیستم بینایی انسان^۱ نسبت به دیگر حوزه های تبدیل می‌باشد و همانند شبکه‌ی

^۱ HVS

چشم تصویر به چندین قسمت تقسیم می‌گردد. این روش باعث می‌شود مقاومت الگوگذاری افزایش یابد در حالیکه به کیفیت تصویر هم آسیبی نمی‌رساند [۱۶].

۲-۶ دسته بندی انواع حملات در الگوگذاری

حملات بسیاری وجود دارد که الگوگذاری تصویر را مورد تهدید قرار می‌دهد دسته بندی کلی این حملات شامل حملات هندسی و عملگرهای پردازش تصویر رایج، است، که مهم‌ترین مساله مقابله با حملات هندسی است چرا که مقاومت در برابر عملگرهای پردازش تصویر با روش‌هایی که تا کنون مطرح گردیده، تقریباً مساله‌ای حل شده است. امروزه چالش اساسی مساله مقاومت در برابر حملات هندسی است. در ادامه‌ی این بخش به معرفی مختصر این حملات می‌پردازیم.

۲-۶-۱ حملات هندسی

حملات هندسی، مدل درج شده در تصویر را نمی‌توانند حذف نمایند، اما مایل هستند که همزمانی در عملیات تشخیص الگو را با درج اطلاعات اضافی تحریف نمایند، در واقع وقتی شناساگر الگو عملیات همزمانی را بصورت کامل در دسترس داشته باشد، می‌تواند الگو را شناسایی و استخراج کند. تلاش این-گونه حملات این است که بتوانند همبستگی تشخیص را بین دنباله الگوی استخراج شده و نیز دنباله الگوی اصلی از بین ببرند، به‌خصوص در محل‌هایی که تحت تاثیر عملیاتی مانند انتقال، چرخش، تغییر اندازه و برش قرار گرفته باشد. باید توجه نمود که مقادیر پیکسل‌ها قبل و پس از این‌گونه حملات یکسان باقی می‌ماند، در حالی که محل پیکسل‌ها تغییر می‌کند. حملات این گروه به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: یکی حملات حاصل از تبدیلات عمومی نسبت داده شده^۱ و نوع دیگر حملات مبتنی بر تبدیلات انعکاسی^۲. حملات هندسی می‌توانند به صورت ریاضیاتی و به صورت تبدیلاتی مناسب، همراه با برخی پارامترهای تصادفی که برای شناساگر مدل شناخته شده نیستند، مدل شوند. به‌طور عادی، پنج پارامتر

^۱ Affine Transformation

^۲ Projective Transformation

وجود دارند که تمامی مجموعه حملات هندسی عمومی را تولید می‌کنند: مقیاس‌گذاری^۱، برش^۲، چرخش^۳، انتقال^۴ و تغییر نسبت ظاهری^۵ [۱۷].

۲-۶-۲ دسته‌بندی روش‌های ارائه شده برای مقابله با حملات هندسی

در سال‌های اخیر متدهای مختلفی برای مقابله با خرابی‌های حملات هندسی ارائه شده است که می‌توان این متدها را به سه دسته تقسیم نمود [۱۸]:

(۱) تبدیل ثابت^۶: بدیهی‌ترین روش برای مقابله با حملات هندسی عمومی استفاده از تبدیل ثابت است. در این متد الگو در حوزه ثابت افاین^۷ درج می‌شود، در [۱۹] برای درج الگو از تبدیل فوریه-ملین استفاده می‌کند، در [۲۰] از تبدیل رادون عمومی‌شده و در [۲۱] از گشتاور^۸ زرنیک برای درج الگو استفاده می‌نمایند. این روش‌ها در برابر تبدیل نسبی عمومی مقاوم هستند اما در برابر حملاتی مانند برش و حمله خم تصادفی^۹ شکننده هستند.

(۲) الحاق قالب^{۱۰}: راه‌حل دیگر برای مقابله با حملات هندسی عمومی، تشخیص تبدیل انجام شده روی تصویر با استفاده از بازیابی الگوی درج شده است. در این روش می‌توان قالب را بعنوان پیک-های محلی در مکان‌های از پیش تعریف شده در حوزه تبدیل فوریه گسسته^{۱۱} درج نمود [۲۲] و [۲۳]. این پیک‌های درج شده، در حین پروسه‌ی تشخیص الگو بررسی می‌شوند تا اطلاعاتی راجع به تبدیلات افاین که تصویر با آن مواجه بوده است، بدست آید. اما از آن‌جا که هر کسی می‌تواند

¹ Scaling

² Shearing

³ Rotation

⁴ Shift

⁵ Change of aspect ratio

⁶ Invariant Transform

⁷ Affine Invariant Transform

⁸ Moment

⁹ Random Bend Attack

¹⁰ Template Insertion

¹¹ Discrete Fourier Transform

به پیک‌های محلی تصویر دست یابد و آن‌ها را دستکاری نماید، پیاده‌سازی‌هایی که از این شیوه استفاده می‌نمایند به راحتی در برابر حملات شکننده خواهند بود.

(۳) بر پایه ویژگی^۱: دسته‌بندی آخر برپایه‌ی ویژگی‌های تصویر است. ایده‌ی اولیه‌ی این روش محدود کردن الگو با ویژگی‌های ثابت هندسی است که باعث می‌شود تشخیص الگو بدون خطای همزمانی انجام شود. در مورد روش و کارهایی که تاکنون با استفاده از این ایده انجام شده است بصورت مفصل در بخشی جداگانه خواهیم پرداخت.

۲-۶-۳ اثرات خرابی‌های هندسی

به صورت کلی اثر و خرابی‌های حملات هندسی را در دو سطح بیان می‌نماییم:

- تبدیلات عمومی هندسی؛ معمولاً برای ویرایش تصویر استفاده می‌شود، مثل چرخش، انتقال، برش و ترکیب. این تبدیلات روی کل تصویر اعمال می‌شود و به راحتی با عملیات ریاضی قابل تعریف هستند. یک راه‌حل برای شناسایی چنین تبدیلاتی بررسی تمام تبدیلات هندسی ممکن روی تصویر الگوگذاری شده است. در این حالت هزینه محاسباتی بسیار بالا می‌رود. مثلاً برای بررسی عملیاتی چون ترکیب چرخش و تغییر سایز از ۵۰٪ به ۲۰۰٪ سایز تصویر، هزینه محاسباتی برابر ۵.۴×۱۰^۴ می‌شود.

- دسته‌بندی دیگر خرابی‌های هندسی که بصورت ویژه برای از بین بردن همزمانی بدون تغییرات بصری در تصویر طراحی شده‌اند. مثلاً در کار ارائه شده توسط khun و همکاران [۲۴] نوعی الگوگیری^۲ به نام stirmark تولید کرده‌اند که حاوی حملات مختلفی است، که ترکیبی از خرابی‌های هندسی تصادفی محلی است و روی الگوریتم‌های کلاسیک الگوگذاری بدون تغییر در شکل ظاهری تصویر، ایجاد اشکال و خرابی می‌کند.

^۱ Feature-Based

^۲ Benchmark

۷-۲ مساله همزمانی

در مرحله تشخیص الگو، برای شناسایی مکان و موقعیت الگوی درج شده در تصویر احتیاج به گام همزمانی داریم. به دو سناریوی مطرح در این زمینه می‌پردازیم:

- درصوت، الگو به صورت بلادرنگ شناسایی می‌گردد. در بیشتر نمونه‌های جزئی، موقعیت شروع دنباله شناخته شده نیست و نمی‌توان از آن بعنوان مرجع استفاده نمود. در نتیجه، شناساگر باید یک مرحله پیش پردازش روی صوت انجام دهد تا موقعیت الگو را شناسایی کند.
- در تصاویر دیجیتال نیز قضیه مشابه است، بعنوان مثال، بعد از تبدیل تصویر آنالوگ به دیجیتال و برعکس مثل اسکن و یا پرینت، تصویر تحت تغییرات هندسی قرار می‌گیرد. لذا لازم است یک مرحله‌ی همزمان‌سازی برای تشخیص الگو روی تصویر انجام شود.

۸-۲ نتیجه‌گیری

در این فصل ابتدا به معرفی مفاهیم اولیه موجود در مورد الگوگذاری پرداختیم. در ادامه، با ارایه سناریوهایی به ضرورت استفاده از سیستم‌های الگوگذاری اشاره نمودیم. همچنین به بررسی مقیاس‌های مختلف برای بررسی نقاط ضعف و قوت روش‌های مختلف الگوگذاری پرداختیم. سپس به معرفی حوزه‌های مختلف استفاده شده در روش‌های الگوگذاری اشاره نمودیم.

در ادامه‌ی این پایان نامه، با استفاده از مفاهیمی که در این بخش معرفی شد، به بررسی روش‌های مختلف موجود جهت الگوگذاری در تصاویر دیجیتال خواهیم پرداخت.

فصل سوم: تکنیک‌های استفاده شده در الگوگذاری تصاویر دیجیتال

۳-۱ مقدمه

در این فصل تکنیک‌های به کار رفته برای اجرای این پایان‌نامه را معرفی می‌نماییم و به صورت تئوری به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

۳-۲ تبدیل موجک گسسته

همان‌گونه که در بخش ۲-۵-۳-۲ بیان نمودیم، یکی از حوزه‌های الگوگذاری، استفاده از تبدیل موجک گسسته می‌باشد که در این پایان‌نامه از این تکنیک برای الگوگذاری استفاده کرده‌ایم و در این بخش به بیان ریاضی آن خواهیم پرداخت.

تبدیل موجک یکی از پرکاربردترین تبدیلات ریاضی در حوزه پردازشی به‌ویژه پردازش سیگنال و تصویر است. با توجه به ماهیت چند رزولوشنی، این تبدیل جای خود را در بسیاری از کاربردهای پردازشی باز کرده‌است و بعضاً به‌عنوان توانمندترین ابزار رخ می‌نماید.

در یک نگاه کلی، هدف از اعمال یک تبدیل ریاضی بر یک سیگنال، بدست آوردن اطلاعات اضافه‌ای است که در سیگنال خام اولیه قابل دسترس نمی‌باشند. که منظور از سیگنال خام اولیه، سیگنال مورد نظر در حوزه مکان است. تصویر به منزله یک سیگنال دوبعدی خواهد بود.

همان‌طور که گفته شد اکثر قریب به اتفاق سیگنال‌های مورد استفاده در عمل، در حوزه زمان هستند. به عبارت دیگر، درایه‌های سیگنال، جدای از آنچه سیگنال مورد بحث اندازه‌گیری می‌کند، تابعیت زمانی خواهد داشت. در نتیجه، به‌هنگام رسم سیگنال حوزه مقادیر مختلف سیگنال بر حسب زمان رسم می‌گردند. در بسیاری موارد اطلاعات سودمند سیگنال در محتوای فرکانسی آن نهفته است که اصطلاحاً به آن، طیف سیگنال گفته می‌شود.

۳-۲-۱ تبدیل فوریه و مشکلات آن

از دیدگاه علمی، اگر یک متغیر ریاضی یا فیزیکی دارای تغییراتی سریع باشد، به آن پرفرکانس یا فرکانس بالا گفته می‌شود و در مقابل اگر تغییرات سیگنال ناچیز باشد، اصطلاحاً سیگنال را فرکانس پایین می‌نامند. به بیان صریح‌تر می‌توان گفت که مفهوم فرکانس در حقیقت نشان‌دهنده نرخ تغییرات متغیر متناظر با آن است. با توجه به مفهوم فرکانس می‌بایست ابزاری برای سنجش محتوای فرکانسی یک سیگنال داشت. این ابزار همان تبدیل فوریه است.

البته تبدیل فوریه تنها بیان‌کننده این است که فرکانس f در سیگنال مورد نظر وجود دارد یا خیر، اما هیچ نوع اطلاعاتی در مورد بازه زمانی متناظر با پدیداری آن فرکانس در اختیار نمی‌گذارد. لذا توجه به ایستا بودن یا نبودن سیگنال پیش از انجام آنالیز فوریه الزامی است.

بعد از تبدیل فوریه، برای رفع مشکل این آنالیز با مساله زمان، ساده‌ترین ایده‌ای که به ذهن می‌رسد این است که می‌توان بخش کوتاهی از یک سیگنال نایستا را ایستا فرض نمود. که به آن تبدیل فوریه زمان-کوتاه^۱ گفته می‌شود. البته بین تبدیل فوریه و نسخه زمان-کوتاه آن تفاوت چندانی وجود ندارد. تنها تفاوت این است که در تبدیل فوریه زمان-کوتاه، سیگنال به بخش‌های به حد کافی کوچکی تقسیم می‌شود به نحوی که بتوان این قسمت‌ها را ایستا فرض نمود. برای این کار از تابع پنجره استفاده می‌شود که طول آن برابر است با حداقل طول مورد نیاز برای آن که فرض ایستا بودن سیگنال معتبر باشد.

تنها مساله‌ای که در اینجا وجود دارد انتخاب اندازه پنجره است. باید دقت داشت که انتخاب طول پنجره بزرگتر هرچند به افزایش رزولوشن کمک می‌کند، اما فرض ایستا بودن قطعه‌های پنجره شده سیگنال را تحت تاثیر قرار می‌دهد. راه‌حلی که برای این مشکل ارائه شده است به کاربرد مورد نظر بستگی دارد و غالباً با توجه به سیگنال مورد تحلیل می‌توان طولی از پنجره را انتخاب نمود که در عین حفظ اعتبار فرض

^۱ Short Time Fourier Transform

ایستایی، رزولوشن زمانی و فرکانسی قابل قبولی داشته باشد. اما با توجه به دشواری این رویکرد و وابستگی آن به سیگنال، ایده استفاده از نوعی تبدیل با رزولوشن قابل تغییر به ذهن رسید که منجر به پیدایش تبدیل موجک گردید [۲۵].

۳-۲-۲ تبدیل موجک

تبدیل موجک پیوسته به عنوان روشی جایگزین برای تبدیل فوریه زمان-کوتاه ارائه گردید و هدف آن غلبه بر مشکلات مربوط به رزولوشن در این تبدیل بود. تبدیل موجک دو اختلاف عمده با تبدیل فوریه زمان-کوتاه دارد که عبارتند از :

۱. در تبدیل موجک، از سیگنال پنجره شده، تبدیل فوریه گرفته نمی شود و بنابراین فرکانس های منفی محاسبه نمی شوند.

۲. در تبدیل موجک، عرض پنجره به موازات تغییر مولفه های فرکانسی تغییر می کند که به طور حتم مهم ترین ویژگی تبدیل موجک است.

اما با توجه به نقش کامپیوترها در محاسبات امروزی، بایستی در کنار مطرح کردن ایده های پردازشی، به نوعی آن ها را درخور محاسبه توسط کامپیوتر نیز درآورد. تبدیلات بیان شده تا اینجا از تبدیل فوریه گرفته تا تبدیل ویولت همگی پیوسته هستند و امکان کاربرد عملی در کامپیوتر را ندارند. لذا ضروری است که از نسخه گسسته شده ی آن ها استفاده کنیم [۲۵].

۳-۲-۲-۱ تبدیل موجک گسسته

اصول اولیه تبدیل موجک گسسته به روشی تحت عنوان کدینگ زیر باند^۱ برمی گردد که در سال ۱۹۷۶ سنگ بنای اولیه آن گذارده شد. ایده اصلی این روش نیز مشابه تبدیل موجک پیوسته است که در آن نوعی توصیف زمان-مقیاس از سیگنال گسسته با استفاده از فیلترهای دیجیتال ارائه می گردد. تبدیل

^۱ Subband Coding

موجک، حاصل شباهت‌سنجی^۱ بین محتوای فرکانسی (مکانی) سیگنال و تابع موجک در مقیاس‌های مختلف است. برای محاسبه تبدیل موجک پیوسته پنجره مورد نظر منقبض/منبسط و شیفت می‌یابد و در هر موقعیت، حاصلضرب آن در سیگنال، انتگرال زمانی گرفته می‌شود. در حالت گسسته، فیلترهایی با فرکانس قطع‌های مختلف برای تحلیل سیگنال در مقیاس‌های متفاوت به کار برده می‌شود. با عبور سیگنال از فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر، فرکانس‌های مختلف آن تحلیل می‌شود. در حالت گسسته، رزولوشن سیگنال توسط عملکرد فیلترها کنترل می‌شود و مقیاس از طریق Downsampling و Upsampling تغییر می‌کند. به طور معمول، این روند تغییر نرخ نمونه‌ها بر روی یک شبکه دوتایی^۲ با $s_0 = 2$ و $\tau_0 = 1$ انجام می‌پذیرد. بنابراین مقیاس‌ها و شیفت‌های زمانی متناظر به ترتیب عبارتند از $s_0 = 2^j$ و $\tau_0 = k2^j$.

روند پردازش با موجک گسسته چنین آغاز می‌شود: در ابتدا سیگنال از یک فیلتر دیجیتال پایین‌گذر نیم-باند با پاسخ ضربه $h[n]$ عبور می‌کند، لذا خروجی فیلتر برابر است با کانولوشن ورودی و پاسخ ضربه فیلتر. در نتیجه این عمل فیلترینگ، تمام مولفه‌های فرکانسی که بیشتر از نصف بزرگترین فرکانس موجود در سیگنال باشند حذف می‌شوند. از آنجا که بیشترین فرکانس موجود در سیگنال خروجی فیلتر برابر است با $\pi/2$ رادیان، نیمی از نمونه‌ها قابل حذف‌اند. لذا با حذف یکی درمیان نمونه‌ها، طول سیگنال نصف خواهد شد بدون اینکه اطلاعاتی را از دست داده باشیم. روند مشابهی نیز با استفاده از یک فیلتر دیجیتال بالاگذر نیم‌باند با پاسخ ضربه $g[n]$ انجام می‌پذیرد. در نتیجه در خروجی اولین مرحله از اعمال تبدیل موجک، دو نسخه، یکی بالاگذر و دیگری پایین‌گذر، با طول کاهش‌یافته (نصف شده) از سیگنال اولیه به فرم زیر بدست می‌آیند:

$$y_{high}[k] = \sum_n x[n] \cdot g[2k - n] \quad (۱-۳)$$

^۱ Correlation

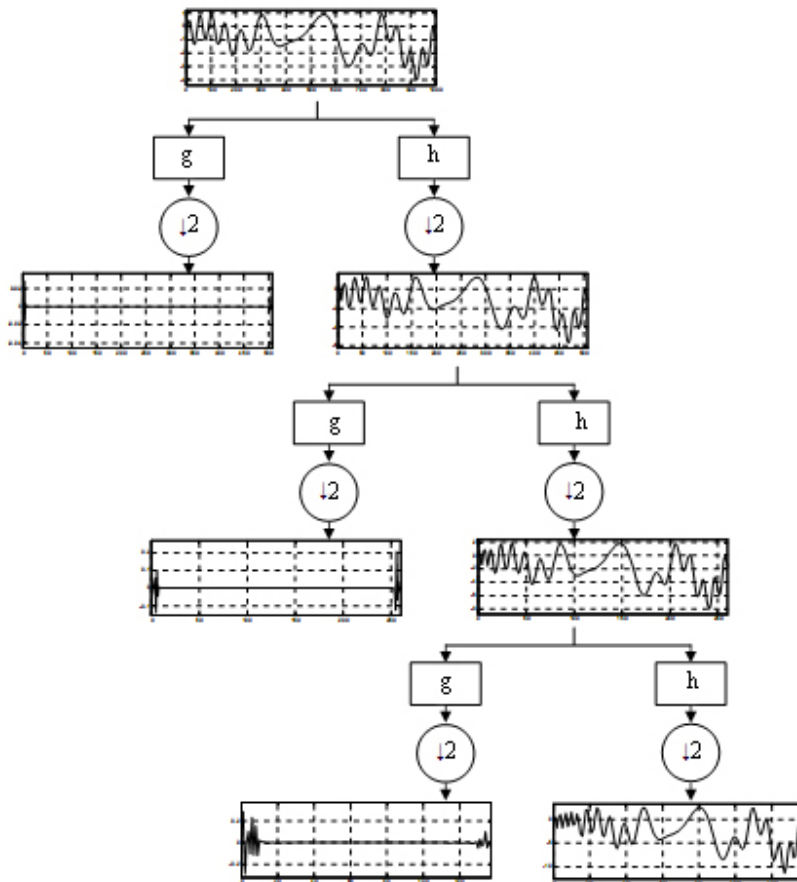
^۲ Dyadic

$$y_{low}[k] = \sum_n x[n] \cdot h[2k - n] \quad (2-3)$$

با این عمل، رزولوشن زمانی نصف شده و در مقابل رزولوشن فرکانسی دو برابر می‌شود. این روند را می‌توان مجدداً بر روی نسخه پایین‌گذر شده اعمال نمود و در هر مرحله با کاهش رزولوشن زمانی به میزان نصف مرحله قبل، رزولوشن فرکانسی را دو برابر نمود. این ایده برای محاسبه تبدیل موجک گسسته، به روش بانک فیلتر مشهور است که در شکل ۱-۳ برای یک سیگنال دلخواه و برای ۳ مرحله نشان داده شده‌است. می‌توان دید که ضرایب خروجی فیلتر پایین‌گذر، شکل اولیه سیگنال را دنبال می‌کنند، به همین دلیل به این ضرایب تقریب^۱ گفته می‌شود. همچنین ضرایب خروجی فیلتر بالاگذر، جزئیات فرکانس فرکانس بالای سیگنال را دربردارند، به همین دلیل به این ضرایب، جزئیات^۲ گفته می‌شود. با افزایش تعداد مراحل تبدیل، میزان جزئیات نیز کاهش می‌یابد. باید دقت داشت تعداد مراحل مورد نیاز برای تبدیل موجک گسسته، به خصوصیات فرکانسی سیگنال مورد تحلیل بستگی دارد. نهایتاً تبدیل موجک گسسته سیگنال از کنار یکدیگر قرار دادن خروجی فیلترها، از مرحله اول اعمال فیلترینگ بدست می‌آید. بدین‌سان، تعداد ضرایب تبدیل موجک با تعداد نمونه‌های سیگنال گسسته ورودی برابر خواهد بود [۲۵].

^۱ Approximation

^۲ Detail



شکل ۳-۱: نمایش نحوه محاسبه تبدیل موجک گسسته ۳ مرحله‌ای با استفاده از ایده بانک فیلتر برای یک سیگنال دلخواه [۲۵].

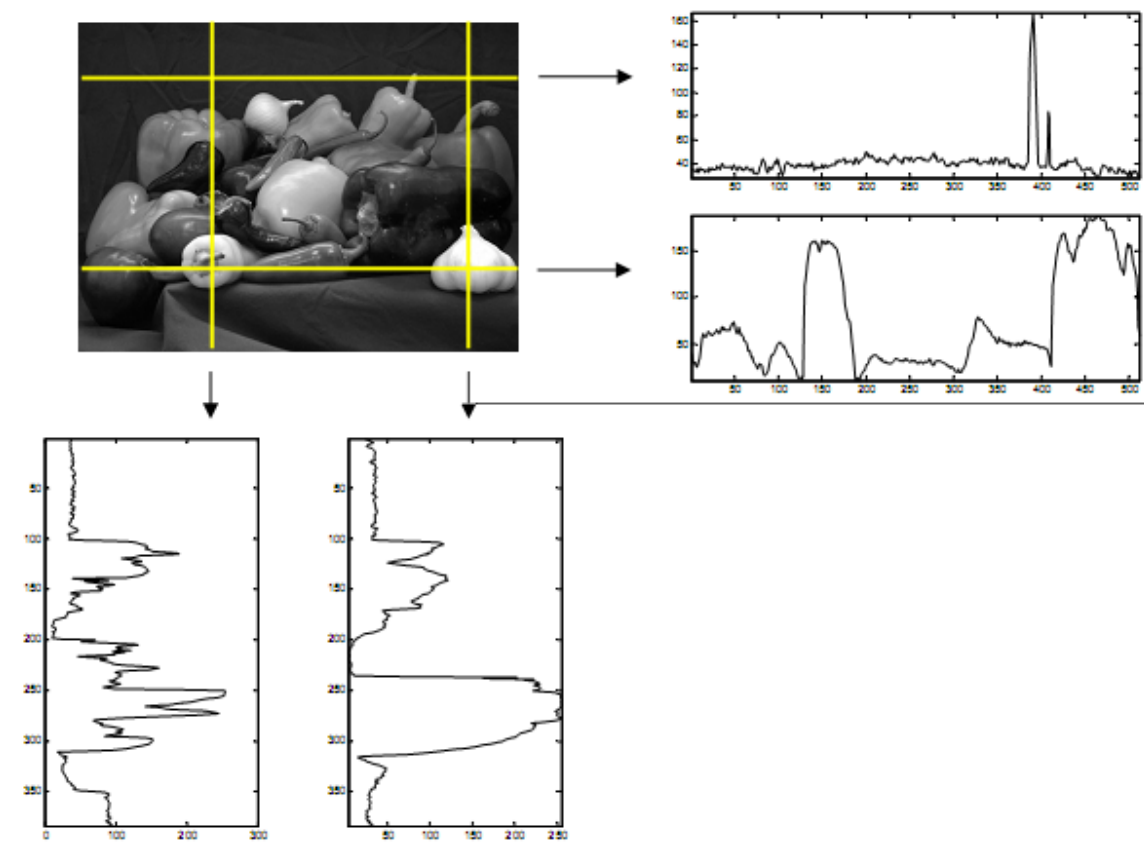
۳-۲-۲ تبدیل موجک دوبعدی

در بخش پیشین اصول ریاضی تبدیل موجک یک بعدی را بیان نمودیم. به منظور تعمیم ایده تبدیل موجک یک بعدی به حالت دوبعدی، الگوریتم بسیار ساده‌ای وجود دارد که در ادامه بررسی می‌گردد. در هر سیگنال دوبعدی که از آن عموماً به تصویر یاد می‌شود، یک ماتریس از المان‌ها موجود است که در سطر و ستون‌های مختلف چیده شده‌اند. با کمی دقت می‌توان دید که هر ستون یا هر سطر از یک تصویر را می‌توان به عنوان یک سیگنال یک بعدی تصور نمود که مقادیر حوزه آن، میزان روشنایی نقاط (پیکسل-های) موجود در آن ستون یا سطر خاص را نشان می‌دهد. شکل ۳-۲ چند نمونه سیگنال متناظر با سطر و ستون‌های مختلف یک تصویر را نشان می‌دهد. با این ایده، می‌توان تبدیل موجک را بر روی هر سطر و یا

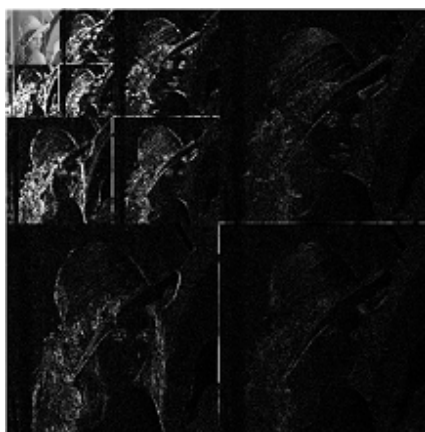
ستون از تصویر، به طور جداگانه اعمال نمود. در حقیقت، نحوه پیاده‌سازی تبدیل موجک دوبعدی نیز به همین صورت است. به عبارت دیگر، به منظور اعمال تبدیل موجک دوبعدی به تصویر، ابتدا تبدیل موجک یک بعدی به سطرها اعمال می‌شود و سپس ستون‌ها را با نرخ ۲، کاهش رزولوشن^۱ می‌دهند تا فقط نمونه‌های واقع در محل‌های زوج باقی بمانند. در این حالت، مجدداً تبدیل موجک یک بعدی بر ستون‌ها اعمال می‌گردد و نهایتاً سطرها را با نرخ ۲، کاهش رزولوشن می‌دهند. بدین ترتیب، ۴ زیرباند مختلف به عنوان ضرایب تبدیل موجک تصویر بدست می‌آید.

مشابه با حالت یک بعدی، اولین زیرباند از ضرایب موجک مربوط به ضرایب تقریب است (LL) که از لحاظ مقدار و شکل ظاهری، مشابه با تصویر اولیه است. جدای از زیرباند تقریب، ۳ زیرباند جزئیات خواهیم داشت که یکی از آن‌ها مربوط به جزئیات افقی موجود در تصویر، یکی از آن‌ها مربوط به جزئیات عمودی در تصویر و آخرین زیرباند مربوط به سایر جزئیات موجود در تصویر است (LH، HL و HH)، که گاهی به آن جزئیات قطری نیز گفته می‌شود. شکل ۳-۳، سه مرحله تبدیل موجک دوبعدی یک نمونه تصویر را نشان می‌دهد. آن‌چنان‌که دیده می‌شود، در زیر باند تقریب (که بالا سمت چپ واقع است) شکل اولیه حفظ شده است. همچنین، در زیر باند جزئیات افقی (بالا، سمت راست) بخش‌های دارای رفتار افقی موجود در تصویر به نمایش درمی‌آید. مشابهاً، در زیرباند جزئیات عمودی (پایین، سمت چپ) بخش‌های دارای رفتار عمودی موجود در تصویر نمایش داده می‌شود. آخرین زیرباند نیز مربوط به جزئیات قطری است که در پایین سمت راست قرار دارد.

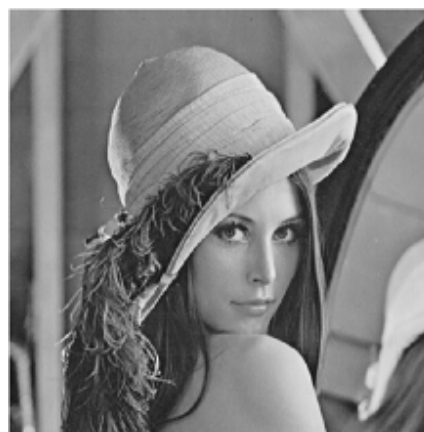
^۱ Downsample



شکل ۳-۲: سیگنال‌های یک بعدی بدست آمده از چند سطر و ستون دلخواه از یک نمونه سیگنال دوبعدی (تصویر) [۲۵].



(ب)



(الف)

شکل ۳-۳: (الف) تصویر "Lena" شامل انواع جزئیات، (ب) سه مرحله تبدیل موجک تصویر و ۴ زیرباند ایجاد شده.

۳-۳ sift^۱

تکنیک sift را اولین بار دیوید لو^۲ [۲۶] معرفی کرد و ثابت کرد که نقاط به دست آمده از این روش، نسبت به انتقال تصویر، چرخش، تغییر سایز و تبدیلات تصویری^۳ ثابت هستند.

ایده اصلی sift، استخراج مشخصه‌های پایدار در فضای مقیاس است. فضای مقیاس یک تصویر به صورت تابع $L(x, y, \sigma)$ ، تعریف می‌شود و به صورت ترکیبی از گوسین متغیر مقیاس و یک تصویر تولید می‌شود:

$$L(x, y, s) = G(x, y, s) * I(x, y) \quad (۲-۳)$$

که $I(x, y)$ تصویر است و G از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$G(x, y, s) = \frac{1}{2\pi s^2} e^{-(x^2+y^2)/2s^2} \quad (۳-۳)$$

برای استخراج مشخصه، ابتدا تصویر با کرنل‌های گوسین در مقیاس‌های مختلف، ترکیب می‌شود تا DoG ^۴ تصاویر به دست آید:

$$D(x, y, s) = (G(x, y, ks) - G(x, y, s)) * I(x, y) \quad (۴-۳)$$

k ، فاکتور ثابت افزایشنده است. نقاط کاندید را با مقایسه هر نقطه با هشت همسایه‌ی هم سطحش در تصویر جاری و نه همسایه‌ی بالایی و نه همسایه‌ی پایینی‌اش در مقیاس‌های بالاتر و پایین‌تر، انتخاب می‌کنیم (شکل ۳-۴). یک نقطه فقط زمانی انتخاب می‌شود که بزرگترین یا کوچکترین در بین همسایگان خودش باشد. علاوه بر این، موقعیت‌هایی با کنتراست پایین و مکانیت ضعیف به وسیله‌ی معیار پایداری در هر مشخصه با استفاده از ماتریس هسین^۵ 2×2 (H) به صورت زیر حذف می‌شوند:

$$\frac{(D_{xx} + D_{yy})^2}{D_{xx}D_{yy} - (D_{xy})^2} < \frac{(r+1)^2}{r}, \quad H = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{bmatrix}. \quad (۵-۳)$$

^۱ Scale Invariant Feature Transform (SIFT)

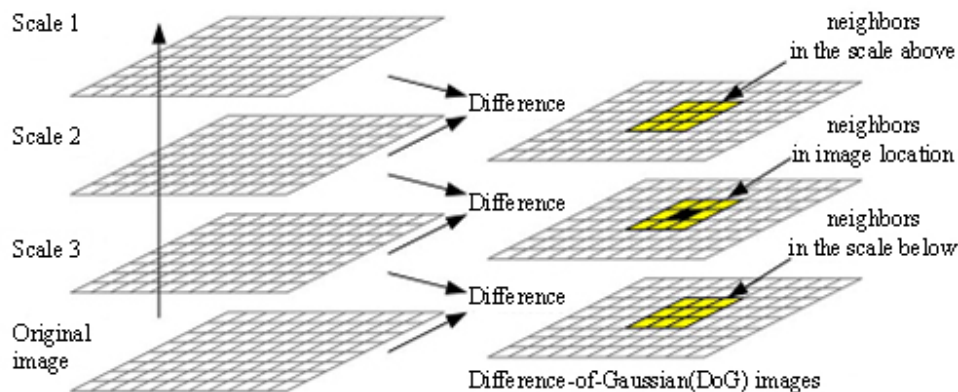
^۲ David Lowe

^۳ Projective

^۴ Differential of Gaussian

^۵ Hessian Matrix

که در این جا، r نسبت بین بزرگترین و کوچکترین اندازه‌ی مقدار ویژه است. به‌منظور ثبات در برابر چرخش تصویر، در هر نقطه کلیدی، یک زاویه‌ی پایدار، تعیین می‌کنند. با محاسبه‌ی زاویه‌ی نقاط ساده درون ناحیه‌ای حول نقطه کلیدی، هیستوگرام آن شکل می‌گیرد.



شکل ۳-۴: فضای مقیاس با استفاده از تابع و همسایگان یک پیکسل [۲۷].

پیک در این هیستوگرام نشان دهنده‌ی برجستگی آن نقطه مشخصه است [۲۸]. توصیف‌گرهای به‌دست آمده از sift، شامل موقعیت نقطه کلیدی، مقیاس و جهت زاویه آن است. این ویژگی‌ها برای تطبیق نقاط مشخصه و بازیابی تصویر است [۲۸]. البته مشخصه‌های به‌دست آمده از توصیف‌گرهای sift، مستقیماً برای پروسه‌ی الگوگذاری مناسب نیستند، چراکه، تعداد و نحوه‌ی توزیع مشخصه‌ها به محتویات و بافت تصویر وابسته هستند [۱]. علاوه بر این، برای بازیابی تصویر در روش پیشنهادی ارائه شده در این پایان نامه، احتیاج به مشخصه‌های پایدارتری داریم. بنابراین، آن دسته از مشخصه‌ها را که در برابر حملات شکننده هستند را حذف می‌نماییم.

۳-۴ تجزیه مقادیر منفرد

اگر فرض کنیم A یک ماتریس حقیقی $m \times n$ باشد، تجزیه مقادیر منفرد را می‌توان به‌صورت زیر نوشت [۲۸]:

$$A = U * S * V^T \quad (۶-۳)$$

که U و V بردارهای متعامد هستند و $S = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r)$ که σ_i مقادیر منفرد ماتریس A هستند و $r = \min(m, n)$ و همچنین:

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r \quad (۷-۳)$$

استفاده از تکنیک تجزیه مقادیر منفرد، در پردازش تصاویر دیجیتال مزیت‌های فراوانی دارد.

نخست آن‌که، سائز ماتریس‌های تولید شده توسط تجزیه نقاط منفرد ثابت نیست و می‌تواند مربعی یا مستطیلی باشد.

دوم آن‌که، مقادیر منفرد در یک تصویر دیجیتال کمترین تاثیر را در مواجهه تصویر با عملیات پردازش تصویر و یا تغییرات هندسی را خواهد داشت.

و در نهایت مزیت آخر این‌که، مقادیر منفرد دارای مشخصه‌های جبری ذاتی تصویر است [۲۹].

به‌عنوان یک تکنیک تجزیه ماتریس بهینه، SVD ماکزیمم انرژی سیگنال را در تعداد کمی از ضرایب ابتدایی قرار می‌دهد و می‌تواند تغییرات محلی اعمال شده روی تصویر را تعدیل نماید.

همچنین مقادیر منفرد دارای مشخصه‌های پایداری، نامتغیر تناسبی و نامتغیر چرخشی است [۳۰ و ۳۲].

تکنیک تجزیه مقادیر منفرد، به صورت کاملاً موثر مشخصه‌های ضروری تصویر را آشکار می‌سازد، در

نتیجه در کاربردهای زیادی از پردازش تصویر مانند تخمین نویز [۳۱ و ۳۲] و الگوگذاری دیجیتال مورد

استفاده قرار می‌گیرد.

فصل چهارم: مطالعه کارهای پیشین

۴-۱ مقدمه

در این بخش، به بررسی کارهای تحقیقاتی انجام شده در زمینه روش‌های مختلف الگوگذاری برای ارائه الگوریتمی مقاوم در برابر حملات هندسی، خواهیم پرداخت.

۴-۲ P.Bas) Geometrically Invariant Watermarking Using Feature Points

و همکاران سال ۲۰۰۲)

اولین مرجع مورد مطالعه در این پایان‌نامه، مربوط به کار Bas و همکاران [۳۳] می‌باشد. در این کار تحقیقاتی ابتدا به بررسی شناساگرهای مختلف برای استخراج نقاط مشخصه^۱ تصویر پرداخته است. انواع شناساگرها، از جمله شناساگر SUSAN، Achard-Rouquet و شناساگر هریس^۲ را مورد بررسی قرار داده است و نهایتاً به نتایج زیر رسیده است:

- شناساگر هریس، مقاوم‌ترین شناساگر است.
 - مقاومت شناساگر بستگی به محتوای تصویر دارد. مثلاً برای تصویر لِنَا^۳ (شکل ۴-۱ الف)) که دارای لبه‌های تیز است، مقاومت بالا و برای تصویر Baboon (شکل ۴-۱ ب)) یا درخت مقاومت پایین‌تر و برای تصویر آب (شکل ۴-۱ ج)) که یکنواخت‌تر است، مقاومت خیلی کمی دارد به طوری که به راحتی با اضافه کردن نویز یا فشرده‌سازی JPEG، تصویر به هم می‌ریزد.
- در نتیجه برای شناسایی نقاط مشخصه تصویر از شناساگر هریس استفاده می‌نماید.

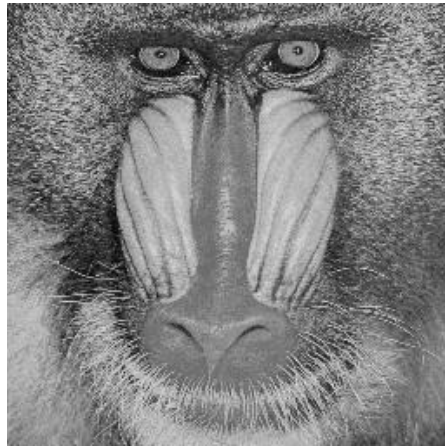
^۱ Feature Points

^۲ Harris Detector

^۳ Lena Image



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۴-۱: (الف) لئا، (ب) Baboon، (ج) آب [۳۳].

روند کلی ارائه شده در این مرجع به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود، روش درج الگو و روش تشخیص الگو. که در دو بخش به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

۴-۲-۱ روند درج الگو

ابتدا نقاط مشخصه تصویر را توسط شناساگر هریس، پیدا می‌کند، سپس با استفاده از روش موزائیکینگ دلانی^۱، بر اساس نقاط مشخصه، تصویر را به مثلث‌هایی جدا تقسیم می‌کند و در نهایت کار را با درج الگو در هر مثلث پایان می‌دهد.

دلایل استفاده از موزائیکینگ مثلثی دلانی:

- موزائیکینگ دارای مشخصه‌های محلی است. بدین معنی که اگر یکی از نودها دیده نشود، موزائیکینگ فقط در نقطه اتصال آن نود تغییر می‌کند و روی مثلث‌های متصل به هم در آن نقطه فقط تغییر ایجاد می‌کند.
 - هر نود منطقه‌ای پایدار دارد که وقتی در آن ناحیه نود حرکت می‌کند، ساختمان موزائیکینگ تغییر نمی‌کند.
 - هزینه محاسباتی آن پایین است و با الگوریتم سریعی می‌توان موزائیکینگ را انجام داد.
- مراحل درج الگو به صورت زیر می‌باشد:

۱. دنباله تصادفی T_w را به شکل مثلث قائم الزاویه‌ای با سایز 64×64 ، تولید می‌کند. مقادیر این دنباله در مجموعه‌ی $\{-1, +1\}$ قرار دارد و میانگین مقادیر صفر است. دنباله را در بلاک‌های پیکسلی 2×2 گسترش داده است، که با این کار روند تشخیص الگو بعد از پروسه بلور کردن بهبود می‌یابد و همچنین در برابر خطاهای جایابی^۲ نقاط مشخصه، انعطاف بیشتری نشان خواهد داد.

^۱ Delanaury Tessellation

^۲ Positioning Error

۲. با استفاده از شناساگر هریس، نقاط مشخصه تصویر را شناسایی میکند. مجموعه نقاط مشخصه‌ی

$$P = \{p_i \in \mathbb{R}^2, i = 1 \dots n\}$$
 به دست می‌آید.

۳. موزائیکینگ را با استفاده از مجموعه نقاط P ، انجام می‌دهد و مجموعه‌ی $T = \{T_i\}, 0 \leq i < N$

، را به دست می‌آورد

موزائیکینگ دلانی، روی مجموعه P ، به صورت مثلث بندی^۱ منحصربه‌فردی از پوشش محدب P

تعریف می‌شود، چنان‌که محتوای داخلی دایره $C(p_i, p_j, p_k)$ ، از هر مثلث (p_i, p_j, p_k) از P^3 ،

هیچ راس دیگری را شامل نمی‌شود.

$$Del(p) = \left\{ (p_i, p_j, p_k) \in P^3 \setminus C(p_i, p_j, p_k) \mid \cap (P - p_i - p_j - p_k) = \emptyset \right\}. \quad (۱-۴)$$

مثلث ساخته شده یک مثلث دلانی را تعریف می‌کند. روند تشخیص الگو در هر مثلث T_k ، متعلق

به T انجام می‌شود.

۴. دنباله‌ی تصادفی T_w ، را با استفاده از تبدیلات افاین به فرم T_k ، نگاشت می‌کند. تبدیلات افاین

مورد نیاز برای نگاشت، با استفاده از مقدار و موقعیت هر زاویه در مثلث T_k ، بدست می‌آید. نتیجه

حاصل مثلث T_m ، خواهد بود.

تابع افاین $\mathcal{A}$ ، اجازه می‌دهد تا نقطه (x_w, y_w) از مثلث T_w به نقطه‌ی (x_m, y_m) در مثلث T_m ،

نگاشت شود. $\mathcal{A}$ به وسیله شش پارامتر حقیقی (a, b, c, d, e, f) تعریف می‌شود. روابط بین دو جفت

نقطه به صورت زیر است:

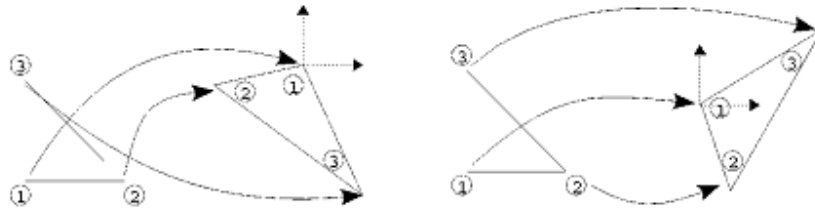
$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_w \\ y_w \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix} = L \begin{pmatrix} x_m \\ y_m \end{pmatrix} + T. \quad (۲-۴)$$

با استفاده از تبدیل افاین $\mathcal{A}$ می‌توان تبدیلات هندسی مثل چرخش، تغییر سایز و یا برش را مدل

نمود.

^۱ Triangulation

برای نگاشت T_w به T_m ، شش تبدیل افاین مختلف وجود دارد. تبدیل افاین انتخاب شده باید منحصر به فرد باشد. برای این کار رئوس مثلث T_w را دسته‌بندی می‌کند. با استفاده از مقدار و اندازه‌ی زاویه‌ها تبدیل منحصر به فرد را به دست می‌آورد. (شکل ۴-۲)

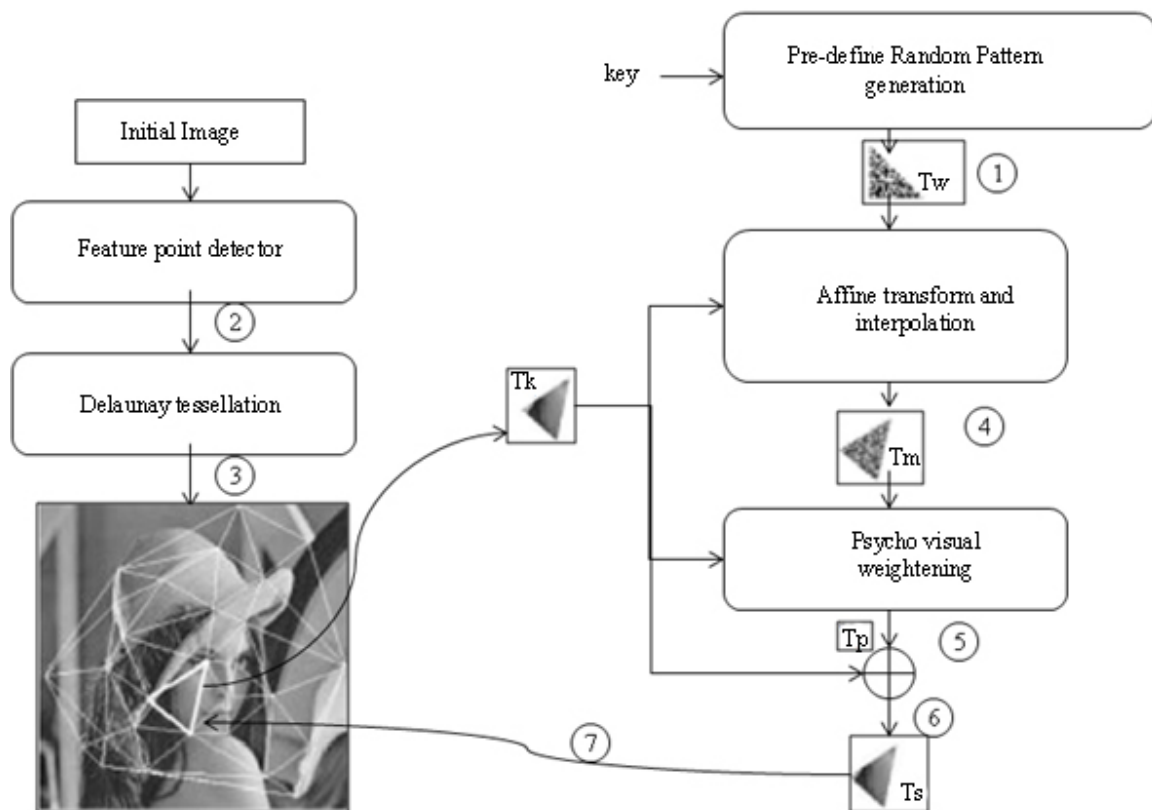


شکل ۴-۲: چرخش مثلث با استفاده از تبدیلات افاین [۳۳].

۵. یک ماسک Λ روی T_m اعمال می‌شود. این ماسک برپایه‌ی روشنایی تصویر است. در واقع برای تولید این ماسک، از این واقعیت که چشم انسان در نواحی تاریک یا روشن در مقایسه با نواحی با روشنایی متوسط، حساسیت کمتری نسبت به کنتراست دارد، استفاده کرده‌است [۳۴]. در نتیجه الگوی T_p ، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$T_p(i, j) = \alpha * \Lambda(i, j) * T_m(i, j) \quad (3-4)$$

α برابر است با قدرت الگو.



شکل ۴-۳: روند کلی درج الگو [۳۳].

۶. سپس مثلث الگوگذاری شده به صورت زیر به دست می آید:

$$T_i = T_p + T_k \quad (4-4)$$

۷. در نهایت مثلث الگوگذاری شده به دست آمده را در تصویر اصلی جای گذاری می کند.

روند کلی درج الگو در تصویر در شکل ۴-۳ آورده شده است.

۴-۲-۲ روند تشخیص الگو

اگر تصویر تحت تبدیلات هندسی قرار گرفته باشد، مجموعه نقاط مشخصه تصویر با توجه به تبدیلات تغییر خواهد کرد و چند مثلث تحت تاثیر قرار می گیرند. روند تشخیص در تصویر ۴-۴ آمده است، که به صورت جزئی آن را بررسی می نمایم.

۱. دنباله ی تصادفی T_w ، براساس کلید سری تولید می شود.

۲. با استفاده از شناساگر هریس، نقاط مشخصه تصویر به دست می‌آید.

۳. موزائیکینگ مثلی را روی نقاط مشخصه تصویر اجرا می‌کند. $T = \{T_i\}, 0 \leq i < N$

با فرض این‌که، الگو در هر مثلث $T_k \in T$ ، وجود دارد.

۴. هر مثلث T_k را به صورت قائم‌الزاویه 64×64 ، T_L برمی‌گردانیم.

۵. بر روی T_L یک فیلتر وینر^۱ اعمال می‌کند تا اجزای تصویر اصلی را به دست آورد. نتیجه $\hat{T}_w$ خواهد بود.

$$\hat{T}_w(i, j) = \frac{V_L[T_w](i, j)}{V_L[T_w](i, j) + V_L[T_L](i, j)} \cdot [T_L(i, j) - M_L[T_L](i, j)] \quad (5-4)$$

V_L واریانس محلی استاندارد و M_L میانه‌ی محلی برای نقطه (i, j) هستند.

فیلتر وینر، به نوعی نقش نویزگیر را دارد و باعث می‌شود اجزای الگو و تصویر اصلی از هم جدا شوند [۳۵]. شکل ۵-۴ تاثیر فیلتر وینر را نشان می‌دهد.

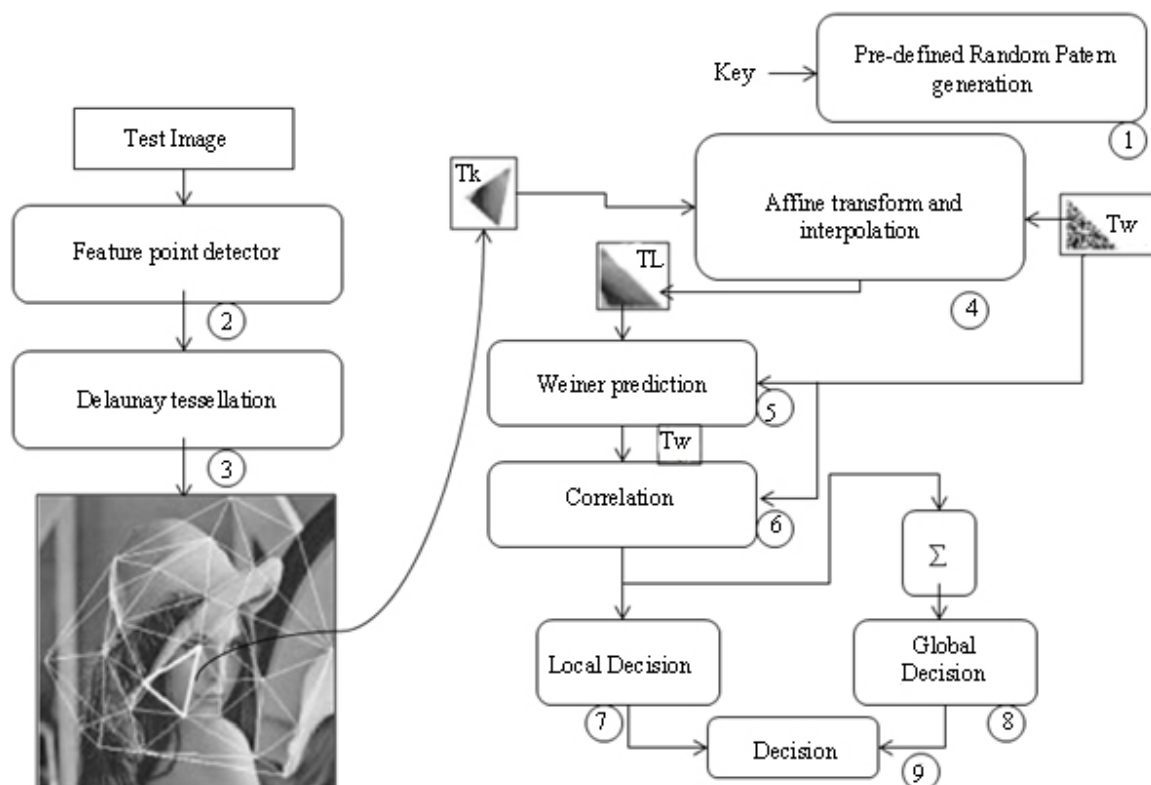
۶. شناسایی الگو در دو مرحله‌ی مختلف انجام می‌شود. مرحله‌ی اول، اندازه $(T_w, \hat{T}_w)$ با یک حد‌آستانه مقایسه می‌شود. مقدار این حد‌آستانه، بستگی به احتمال پاسخ خطا دارد.

احتمال پاسخ خطا، P_{fa} ، برابر است با تشخیص الگو در تصویر وقتی شامل الگو نباشد. الگو در مثلث تشخیص داده می‌شود، اگر $\eta(P_{fa}) \geq \text{corr}(T_w, \hat{T}_w)$.

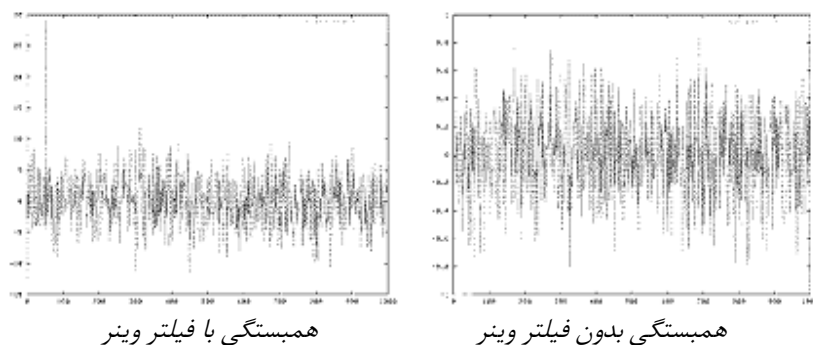
که $\eta(P_{fa})$ حد‌آستانه‌ای برای مقدار پاسخ خطا است. برای تخمین مقدار $\eta(P_{fa})$ تخمینی از مقدار متغیر تصادفی $X_k = \text{corr}(T_w, \hat{T}_w)$ با عرض $k \neq 1$ را در نظر می‌گیریم.

۷. میانگین همبستگی برای هر مثلث از تصویر محاسبه می‌شود و شناسایی الگو در تصویر انجام می‌گیرد. برای مواردی که مقدار بالاتر از حد‌آستانه است، الگو شناسایی شده است.

^۱ Wiener Filtering



شکل ۴-۴: روند کلی تشخیص الگو [۳۳].



شکل ۴-۵: تاثیر فیلتر وینر: همبستگی با کلید ۵۰ روی الگو محاسبه شده است. مثلث انتخاب شده از نوع دارای بافت است. از یک طرف، با استفاده از فیلتر وینر براحتی الگو را تشخیص می دهد (منحنی سمت چپ). و از سویی دیگر، با استفاده از همبستگی کلاسیک امکان تشخیص وجود الگو امکان پذیر نیست [۳۳].

از میانگین همبستگی برای به دست آوردن Z استفاده می شود:

$$Z = \frac{1}{N} \sum_{i=1..N} \text{corr}(T_w, \hat{T}_w) \quad (۴-۶)$$

یک جواب مطلوب این است که Z با یک مقدار مطلوب گوسین پایین تر از میانگین $\hat{m}_z = \hat{m}$ و واریانس $\hat{\sigma}_z^2 = \frac{\sigma^2}{N}$ بیان می شود. به علاوه، اگر رابطه ی $Z \geq \eta(P_{fa})/\sqrt{N}$ برقرار باشد، الگو در تصویر، قابل تشخیص است.

۸. نتیجه نهایی تشخیص، بعد از نتایج تشخیص الگوهای مختلف به دست می آید.

۴-۳) A Feature-based Robust Digital Image Watermarking Scheme

C.W. Tang و همکاران سال ۲۰۰۳

دومین مرجع مورد مطالعه در این پایان نامه، مربوط به کار chih-wei Tang و همکاران [۳۶] می باشد. پیش پردازش در این کار تحقیقاتی از دو مرحله تشکیل شده است، نرمال سازی تصویر و استخراج ویژگی-های تصویر. هدف مطرح شده در این مرجع، مقاومت در برابر حملات هندسی و عملیات پردازش سیگنال است.

هدف از نرمال سازی تصویر، ساده سازی عملیات شناسایی الگو می باشد. از طرفی چون نرمال سازی تصویر نسبت به تغییرات محلی، حساس است، این عمل را روی قسمت های جداگانه ای از تصویر که هیچ اشتراکی باهم ندارند، انجام می دهد. این قسمت ها به صورت دایره هایی هستند که مرکز آن ها نقاط مشخصه تصویر است. برای بهبود مقاومت الگو گذاری در هر قسمت (دایره)، یک کپی از دنباله ی ۱۶ بیتی الگو را درج می کنیم.

۴-۳-۱ استخراج ویژگی

در روش استفاده شده در این مرجع، برای استخراج نقاط مشخصه تصویر، از موجک کلاه مکزیکی، استفاده کرده که تابعی LoG^1 است. که موجک مادر کلاه مکزیکی در مکان $\vec{x}$ ، به صورت زیر تعریف می-شود:

$$\psi(\vec{x}) = (2 - \|\vec{x}\|^2)e^{-\|\vec{x}\|^2/2} \quad (۷-۴)$$

که $\|\vec{x}\| = \sqrt{x^2 + y^2}$. تبدیل فوریه دوبعدی $\psi(\vec{x})$ ، به صورت زیر است:

$$\psi(\vec{k}) = \|\vec{k}\|^2 e^{-\|\vec{k}\|^2/2} \quad (۸-۴)$$

که $\vec{k}$ ، فرکانس فضای دوبعدی است، متد استخراج ویژگی تعریف شده در [۳۷ و ۳۸]، از معادلات زیر به-دست می-آید:

$$P_{ij}(\vec{x}) = |M_i(\vec{x}) - \gamma \cdot M_j(\vec{x})| \quad (۹-۴)$$

$$M_i(\vec{x}) = \left(2^{-i}\psi(2^{-i}.\vec{x})\right) * A \quad (۱۰-۴)$$

که $M_i(\vec{x})$ ، پاسخ اپراتور موجک کلاه مکزیکی، در موقعیت فضایی $\vec{x}$ ، از مقیاس i است و γ پارامتر مقیاس و $P_{ij}(\vec{x})$ تبدیل مقیاس، بین دو مقیاس i و j است و A تصویر ورودی و $*$ ، اپراتور پیچیدگی^۲ است. این روش هم برای تصاویر رنگی و هم تصاویر سیاه و سفید استفاده شده است که در تصاویر رنگی برای درج الگو از کامپوننت Y تصویر رنگی استفاده شده است.

موجک کلاه مکزیکی، در حوزه FFT اجرا شده است. تصویر ورودی با سایز ۱۰۲۴×۱۰۲۴ است و برای انتخاب نقاط مشخصه سعی شده است تا نقاط مشخصه‌ی حاشیه‌های تصویر، انتخاب نشود. بنابراین،

^۱ Laplacian of Gaussian

^۲ Convolution

محدوده‌ی حاشیه تصویر را از قبل انتخاب می‌کند و در اثر این کار، حاشیه تصویر در انتخاب نقاط مشخصه

بی‌تاثیر می‌شود.

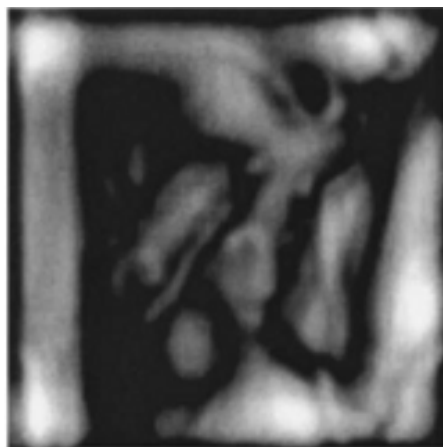
در مثالی که در شکل ۴-۶، می‌نمایید، تاثیر مقیاس‌های مختلف در موجک کلاه مکزیک مشاهده می‌شود.



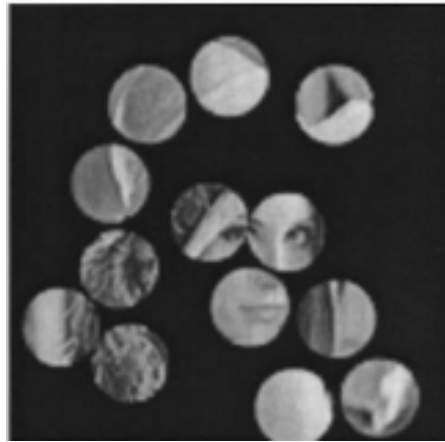
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۴-۶: (الف) موجک کلاه مکزیکی در مقیاس $i=2$ ، (ب) در مقیاس $i=4$ ، (ج) تفاوت در تصویر (الف) و (ب)، (د) دیسک‌هایی به مرکزیت نقاط مشخصه [۳۹].

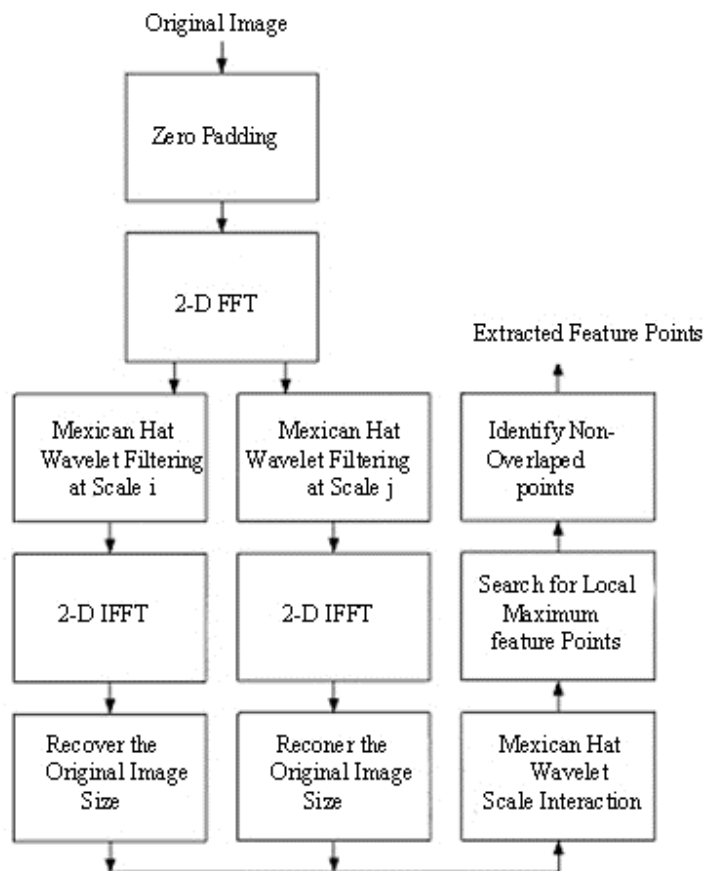
در شکل ۴-۶ (الف)، مقیاس $i=2$ ، در شکل ۴-۶ (ب)، مقیاس $i=4$ و در شکل ۴-۶ (ج) اختلاف دو تصویر فیلترشده با این موجک با $\gamma = 1$ ، مشاهده می‌گردد. دو مقیاس پیشنهاد شده توسط [۱ و ۱۲]، $i=2$ و $j=4$ هستند.

نقاط مشخصه، به صورت ماکزیمم محلی در داخل دیسک‌هایی در تصویر تعریف می‌شوند. شعاع هر دیسک به صورت تجربی، ۴۵ انتخاب شده است.

به منظور کاهش قدرت مشاهده الگو، نقاط مشخصه در نواحی با واریانس کوچک انتخاب شده‌اند. روند استخراج نقاط مشخصه در شکل ۴-۷ نشان داده شده است.

دلایل استفاده از موجک کلاه مکزیکی، برای استخراج نقاط مشخصه:

۱. می‌توان در مقیاس‌های مختلف از آن استفاده کرد، در نتیجه درجه‌های مختلفی از مقاومت در برابر خرابی‌ها را میتوان با انتخاب، پارامترهای مقیاس مختلف داشته باشیم.



شکل ۴-۷: روند استخراج نقاط مشخصه با استفاده از موجک کلاه مکزیکی [۳۹].

۲. تغییرات محلی شامل تاب دادن^۱ و قطعه کردن^۲، به صورت عمومی روی تعداد کمی، نقطه‌ی مشخصه در تصویر تاثیر می‌گذارند، لذا، نقاط مشخصه‌ی تاثیر نگرفته هنوز می‌توانند به عنوان مرجع در پروسه‌ی شناسایی استفاده گردند.

۳. این تابع موجک، نسبت به چرخش، حساس نیست و ثابت است.

۴. چون موجک کلاه مکزیکی، محدود به باند^۳ است، مشکل حساسیت به نویز در استخراج نقاط مشخصه کاهش می‌یابد.

^۱ Warping

^۲ Cropping

^۳ Band Limited

۵. و در نهایت، نقاط مشخصه‌ی استخراج شده، محل و موقعیت خود را تحت فشردگی با

استاندارد JPEG با کیفیت بالا، تغییر نمی‌دهند [۳۷].

دیسک‌هایی که به مرکزیت نقاط مشخصه هستند (شکل ۴-۶ (د))، برای درج الگو استفاده می‌شوند و این دیسک‌ها نباید با یک‌دیگر هم‌پوشانی داشته باشند.

۴-۳-۲ نرمال‌سازی تصویر

دلیل استفاده از نرمال‌سازی تصویر، این است که نرمال‌شده‌ی یک تصویر چرخش یافته با نرمال‌شده‌ی تصویر اصلی آن یک‌سان است، که این عدم حساسیت نسبت به چرخش روند تشخیص الگو را بسیار ساده‌تر می‌کند. از طرف دیگر، چون نرمال‌سازی تصویر نسبت به تغییرات محلی تصویر حساس است، عمل تشخیص الگو اگر به‌جای کل تصویر، روی قسمت‌هایی از تصویر صورت بگیرد، با دقت بالاتری انجام می‌شود.

در این مرجع، نرمال‌سازی را روی هر دیسک به‌صورت جداگانه انجام داده است.

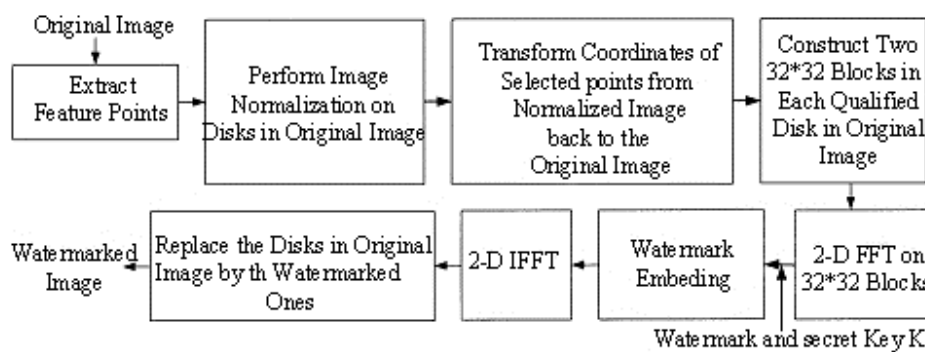
در واقع از نرمال‌سازی تصویر برای انتخاب موقعیت الگو استفاده شده است، حتی اگر الگو در تصویر نرمال‌شده درج نشده باشد.

عیب استفاده از نرمال‌سازی این است که برای نگاشت پیکسل‌های تصویر اصلی روی تصویر نرمال‌شده و برعکس، به تغییرات و دست‌کاری فضایی احتیاج داریم که این کار باعث ایجاد خرابی‌های زیادی در تصویر می‌شود و قدرت تشخیص الگو در تصویر را کاهش می‌دهد.

۴-۳-۳ درج الگو

روند کلی درج الگو در تصویر با استفاده از تکنیک‌های بیان شده در این کار تحقیقاتی در زیر آورده شده است (شکل ۴-۸):

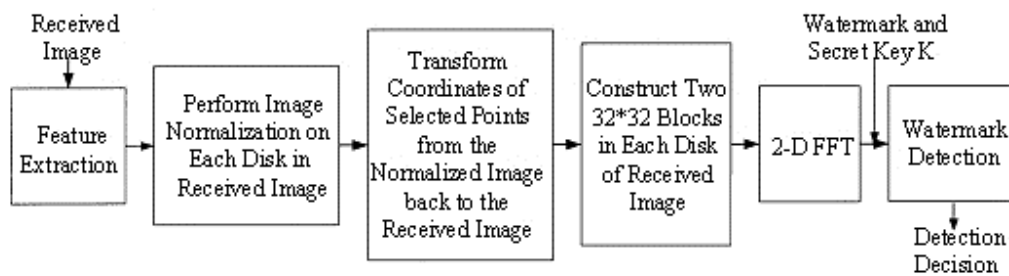
۱. ابتدا با استفاده از متد استخراج نقاط مشخصه، مرکز دیسک‌ها را برای درج و تشخیص الگو، تولید می‌کند.
۲. فرایند نرمال‌سازی را روی هر دیسک از تصویر، اجرا می‌نماید.
۳. ضرایب تبدیل مختصات بین دیسک‌های تصویر اصلی و دیسک‌های تصویر نرمال‌شده، تولید می‌شود.
۴. موقعیت جاهایی که باید الگو در تصویر اصلی درج شود، با استفاده از تصویر نرمال‌شده شناسایی می‌گردد.
۵. مختصات نقاط انتخاب شده از تصویر نرمال‌شده به تصویر اصلی، نگاشت می‌شود. در نتیجه، مشکل هم‌زمانی الگو در پروسه‌ی تشخیص الگو کاهش می‌یابد.
۶. سپس FFT دوبعدی، روی بلوک‌های 32×32 در هر دیسک دارای شرایط، در تصویر اصلی اعمال می‌شود. الگو در حوزه‌ی تبدیل تعبیه می‌شود.
۷. در نهایت بلوک‌های الگوگذاری شده، تحت دو مرحله FFT معکوس، قرار می‌گیرد، تا به حوزه فضایی برگردانده شوند و در تصویر اصلی جای‌گذاری گردند.



شکل ۴-۸: روند درج الگو [۳۶]

۴-۳-۴ استخراج الگو

روند کلی استخراج الگو از تصویر در شکل ۹-۴ آورده شده است و مراحل آن به صورت زیر است:



شکل ۹-۴: روند استخراج الگو [۳۶]

باید توجه شود، در روش ارائه شده برای تشخیص الگو احتیاجی به داشتن تصویر اصلی نمی‌باشد.

۱. نقاط مشخصه تصویر را استخراج می‌کند. تمام نقاط مشخصه کاندیدی برای مکان بیت‌های درج

شده‌ی الگو هستند و از آن جایی که ممکن است تصویر تحت تغییرات و حملات هندسی واقع شده

باشد، نقاط مشخصه استخراج شده ممکن است، جابه‌جا شده باشند. البته اگر این جابه‌جایی کم

باشد می‌توان امیدوار بود که الگوی درج شده به صورت صحیح استخراج شود.

۲. نرمال‌سازی تصویر روی همه‌ی دیسک‌ها به مرکزیت نقاط مشخصه استخراج‌شده‌ی کاندید، انجام

می‌شود.

۳. در هر دیسک دو بلاک 32×32 استخراج می‌گردد. مکان این بلاک‌ها مشابه روند درج الگو است.

۴. مختصات تبدیل ضرایب بین دیسک‌های تصویر اصلی و تصویر نرمال‌شده تولید می‌شود. بنابراین

مکان بلاک‌ها در تصویر، از روی تصویر نرمال‌شده مشخص می‌شود و مختصات نقاط انتخاب شده

از تصویر نرمال‌شده به تصویر ورودی، تبدیل می‌شود.

۵. در هر بلاک 32×32 در حوزه‌ی فرکانس DFT، ۱۶ بیت الگو از اجزای DFT، با استفاده از کلید سری، استخراج می‌شود. برای هر جفت ضرایب DFT، (x_i, y_i) و $(-y_i, x_i)$ ، بیت الگوی استخراج شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$wm_i = \begin{cases} 1, & \text{if } F''(x_i, y_i) - F''(-y_i, x_i) \geq 0 \\ 0, & \text{if } F''(x_i, y_i) - F''(-y_i, x_i) < 0 \end{cases} \quad (11-4)$$

که $F''(x_i, y_i)$ و $F''(-y_i, x_i)$ ، اندازه ضرایب انتخاب شده در مکان (x_i, y_i) و $(-y_i, x_i)$ ، است. دنباله‌ی ۱۶ بیتی استخراج شده‌ی الگو با الگوی اصلی درج شده در تصویر مقایسه می‌شود تا موفقیت یا عدم موفقیت تشخیص الگو مشخص شود.

این روش الگوگذاری، روی تصاویر 512×512 ، "Lena"، "Baboon" و "Peppers" تست شده است.

۴-۴ A Robust Content Based Digital Image Watermarking Scheme)

X.QI و همکاران سال ۲۰۰۷)

در این مرجع، یک روش برپایه ویژگی‌های تصویر ارائه شده است که برای استخراج نقاط مشخصه یا همان ویژگی‌های تصویر از شناساگر هریس استفاده می‌کند و با استفاده از متدی برپایه‌ی موزائیکینگ دلانی، پروسه‌ی تشخیص الگو را انجام می‌دهد.

۴-۴-۱ روند درج الگو

در این روش، تمام زیرتصویرهای ممکن از تصویر اصلی که به کانال‌های ارتباطی وابسته باشند، مورد بررسی قرار می‌گیرند. برای بهبود مقاومت بیت‌های الگو، تمام قسمت‌های انتخاب شده برای درج الگو، یک کپی یکسان از الگو را حمل می‌کنند.

در طی پروسه‌ی تشخیص الگو، اگر در یک زیر تصویر، یک کپی از الگوی درج شده تشخیص داده شود، می‌توان ادعا کرد الگو در تصویر وجود دارد.

مراحل کلی درج الگو در تصویر به این روش در این مرجع به صورت زیر می باشد (شکل ۴-۱۰):

۱. تقسیم بندی تصویر، هر تصویر 512×512 ، به زیر تصاویرهای غیرهم پوشان و بصورت 3×3 تقسیم می شود.

۲. با استفاده از شناساگر لبه‌ی هریس، نقاط مشخصه‌ی تصویر را شناسایی می کند (تعداد نقاط مشخصه‌ی استخراج شده با توجه به یک مقدار حدآستانه تعیین می شود) و زیرتصویری با بیشترین تعداد نقاط مشخصه را برمی گزینند، تا بلوک برای درج الگو، تعیین شود. معمولاً این بلوک‌ها بافت متراکم‌تر و با جزییات بیشتری دارند.

۳. دنباله‌ی الگو A_i ، یک دنباله‌ی دوقطبی^۱ است که طولش ضریب چهار است ($|A_i| = 8$). این دنباله با کد خطایاب^۲ (ECC) کد می شود تا دنباله‌ی الگوی دوقطبی خطایاب ECA_i تولید شود، که طول آن ۷ است ($|ECA_i| = 14$).

۴. با S بار تکرار دنباله‌ی ECA_i ، یک دنباله‌ی الگوی دوقطبی خطایاب گسترده^۳، W_j ، تولید می شود که $W_j = ECA_i$ برای $i s \leq j < (i + 1)s$ ، که s فاکتور گستردگی است، $s = \lfloor \frac{\text{len}}{ECA_i} \rfloor$ و len برابر است با تعداد مکان‌های درج الگو. W_j با طول len برابر است.

۵. دنباله‌ی PN ($p_j = \{1, -1\}$)، با استفاده از کلید سری و با طول مساوی با W_j ، تولید می شود.

۶. برای هر زیر تصویر به دست آمده از مرحله‌ی ۲، اعمال زیر انجام می شود:

الف. برای به دست آوردن $FsubA$ ، تبدیل فوریه گسسته سراسری را اعمال می کند.

ب. موقعیت امن الگو را در فرکانس‌های میانی نیمه‌ی بالایی $Fsub$ ، با استفاده از تابع درهم ساز، به دست می آورد.

¹ Bipolar

² Error Correction Code

³ Spread Error Correcting Bipolar Watermark Message bit Sequence

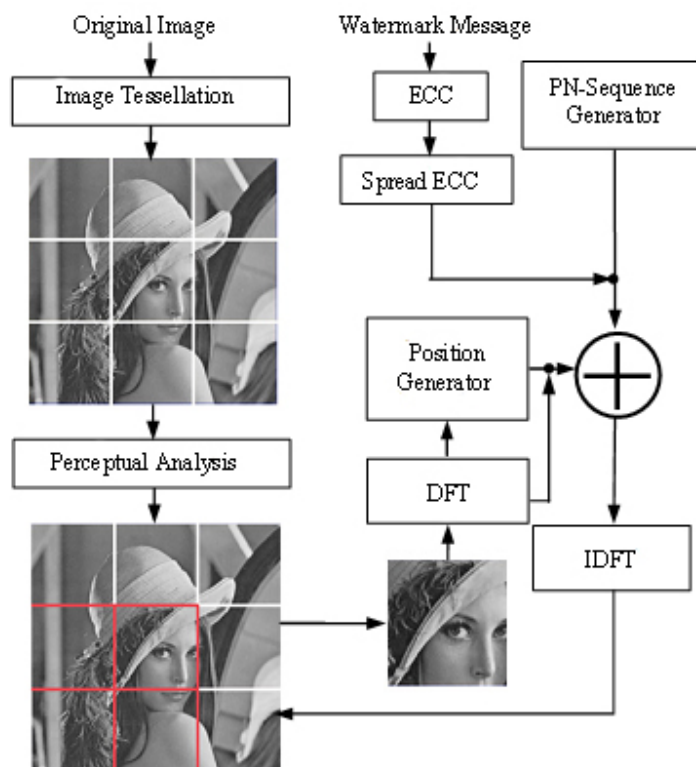
ج. الگوی W_j را در هر مکان امن (x_k, y_k) به دست آمده از مرحله ی ب، به صورت زیر درج می کند:

$$FsubA(x_k, y_k)' = FsubA(x_k, y_k) + \quad (۱۲-۴)$$

که G ، مقاومت درج الگو است.

به صورت متقارن نسبت به مرکز، تغییرات مشابهی انجام می شود.

د. معکوس تبدیل فوریه گسسته (IDFT) روی $FsubA'$ اعمال می شود تا زیر تصویر الگوگذاری شده $subA'$ را به دست آورد و به جای زیر تصویر اصلی $subA$ ، جای گذاری کند.



شکل ۴-۱۰: دیاگرام درج الگو [۱].

قبل از درج الگو شناساگر لبه‌ی هریس را برای پیدا کردن تمام نقاط مشخصه مهم تصویر اصلی، اعمال می‌کند. اعمال این شناساگر روی سه تصویر به کار گرفته شده در این مرجع، در شکل ۴-۱۱، آورده شده است.

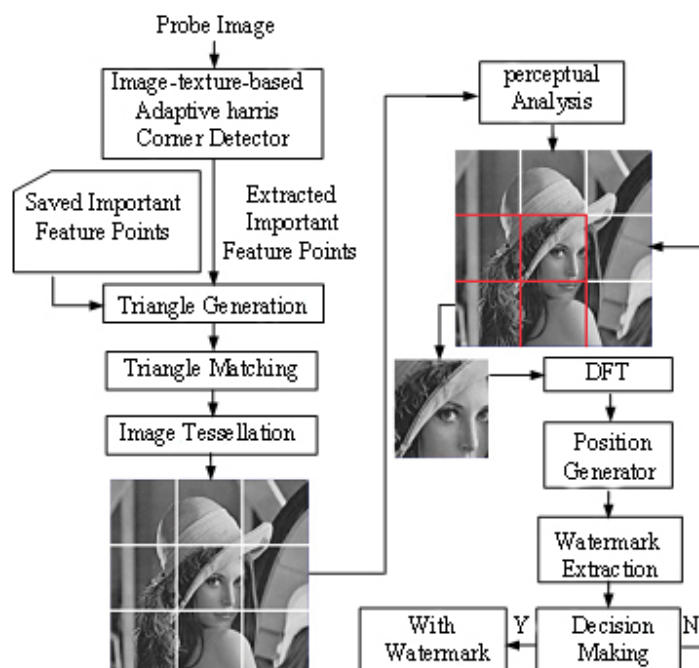


شکل ۴-۱۱: تاثیر اعمال شناساگر لبه‌ی هریس روی سه تصویر استفاده شده در این مرجع [۱].

چون تعداد نقاط مشخصه‌ی انتخاب شده بر اساس بافت تصویر تعیین می‌شود، هزینه‌ی مکانی روش، در مقایسه با هزینه‌ی مکانی ذخیره‌ی کل تصویر اصلی، مینیمم می‌شود.

۴-۴-۲ روند تشخیص الگو

دیگرام مربوط به پروسه‌ی تشخیص الگو در شکل ۴-۱۲، آورده شده است. برای تشخیص الگو احتیاجی به داشتن تصویر اصلی نمی‌باشد. ابتدا نقاط مشخصه تصویر را با شناساگر لبه‌ی هریس شناسایی می‌نماید، سپس با استفاده از نقاط مشخصه ذخیره شده از روند درج الگو و نقاط مشخصه به دست آمده از مرحله‌ی قبل، دو مجموعه مثلث را با استفاده از روش موزائیکینگ دلانی تولید کرده و آن دو را با هم مقایسه می‌کند تا تبدیلات هندسی احتمالی انجام شده روی تصویر الگوگذاری شده را شناسایی کند. سپس معکوس آن را روی تصویر اعمال کرده و در نهایت به استخراج الگو از تصویر بازسازی شده می‌پردازد. با این کار خطاهای هم‌زمان‌سازی بین الگوی اصلی و استخراج شده به حداقل می‌رسد.



شکل ۴-۱۲: دیاگرام تشخیص الگو [۱].

تشخیص الگو، مشابه پروسه‌ی درج، روی تصویر بازسازی شده انجام می‌گیرد تا برای هر زیر تصویر i که پتانسیل درج الگو را داشته باشد، دنباله‌ی الگوی " $FsubA$ " در حوزه‌ی فرکانسی، شناسایی شود. روش کور بازیابی الگو، برای استخراج دنباله‌ی الگوی دوقطبی خطایاب گسترده، استفاده می‌شود (" ECA "). دنباله‌ی الگوی دوقطبی خطایاب گسترده " ECA_i " با ECA_i ، برای شناسایی وجود الگو، مقایسه می‌شود. تعداد بیت‌های منطبق شده در زیرتصویر دارای پتانسیل درج با حدآستانه‌ی از پیش تعریف‌شده، برای تشخیص مقایسه می‌شود، که آیا الگو در تصویر وجود دارد یا خیر؟ حدآستانه بر اساس احتمال خطا^۱ که ممکن است در تشخیص الگو اتفاق بیفتد، محاسبه می‌شود. برای مدل کردن " ECA_i " از دنباله‌ی برنولی استفاده می‌شود، به طوری که هر بیت یک متغیر تصادفی مستقل است.

^۱ False-Alarm Probability

احتمال انطباق k بیت بین n بیت استخراج شده و دنباله‌ی بیتی الگوی اصلی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_k = \binom{n}{k} P^k (1 - P)^{n-k} \quad (۱۳-۴)$$

که P ، احتمال موفقیت است که احتمال بیت‌های استخراج شده‌ی منطبق از الگوی اصلی را نشان می‌دهد. برای ساده‌سازی معادله‌ی بالا، با فرض نصف شدن P ، می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$P_k = \left(\frac{1}{2}\right)^n \left(\frac{n!}{k!(n-k)!}\right) \quad (۱۴-۴)$$

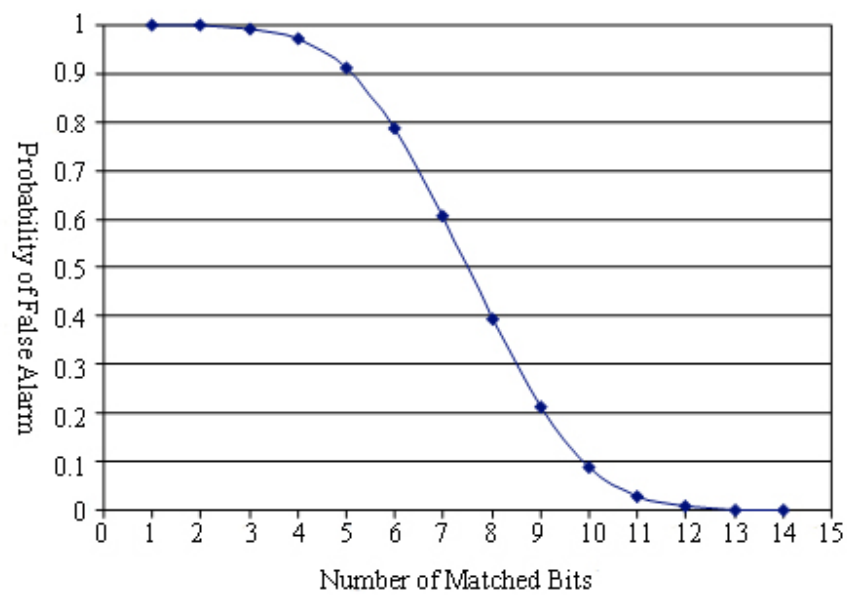
احتمال خطا برای هر زیر تصویر دارای الگو، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{false-alarm}(i) = \sum_{k_i=T_i}^n \left(\frac{1}{2}\right)^n \left(\frac{n!}{k_i!(n-k_i)!}\right) \quad (۱۵-۴)$$

که از نوع احتمال فزاینده است.

k_i و T_i به ترتیب، تعداد بیت‌های منطبق شده و حدآستانه، برای هر زیر تصویر i را بیان می‌کنند.

در شکل ۴-۱۳، نمودار احتمال خطا در حدآستانه‌های مختلف را نشان می‌دهد. بهترین تطبیق بین دنباله‌ی بیتی الگوی اصلی و الگوی استخراج شده در یک زیرتصویر با احتمال خطای 6.10×10^{-5} ، به دست می‌آید. در نتیجه اگر دنباله‌ی بیتی الگوی اصلی و الگوی استخراج شده کاملاً در یک زیر تصویر، منطبق باشند، می‌توانیم ادعا کنیم الگو با احتمال خطای برابر 6.10×10^{-5} ، وجود دارد.



شکل ۴-۱۳: رابطه بین احتمال خطا و بیت‌های منطبق شده در یک زیر تصویر [۱].

فصل پنجم: یک روش مقاوم الگوگذاری

تصویر دیجیتال برپایه بازیابی تصویر با

استفاده از sift

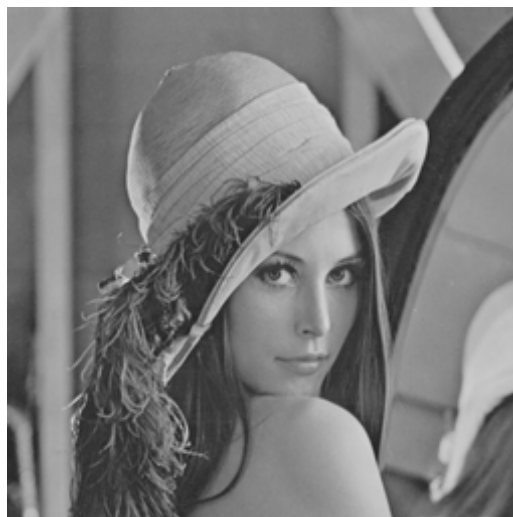
۵-۱ مقدمه

در این فصل به معرفی و ارائه روش پیشنهادی می‌پردازیم. فرایند الگوگذاری را در دو بخش جداگانه ارائه می‌نماییم. در بخش نخست آن، به بیان چگونگی درج الگو و در بخش دوم به مراحل استخراج الگو از تصویر خواهیم پرداخت و در انتها نتایج به‌دست آمده با استفاده از این روش را خواهیم آورد.

۵-۲ پروسه‌ی الگو گذاری

پروسه درج و تشخیص الگو، در حوزه‌ی فرکانسی انجام می‌گیرد و از تبدیل موجک گسسته برای تبدیل تصویر به مولفه‌های فرکانسی و از تکنیک تجزیه مقادیر منفرد برای درج الگو در هر زیرتصویر استفاده می‌نماییم.

تصویری که برای درج الگو انتخاب نموده‌ایم تصویر سیاه و سفید ۸ بیتی "lena" با سایز 256×256 و الگوی مورد نظر ما برای درج، یک تصویر سیاه و سفید ۸ بیتی 64×64 است که در شکل ۵-۱ آورده شده است. از آن جایی که این روش مستقل از بافت تصویر است، لذا تنها نتایج حاصل از الگوگذاری روی تصویر ۵-۱(الف) در این جا آورده شده است.



الف



ب

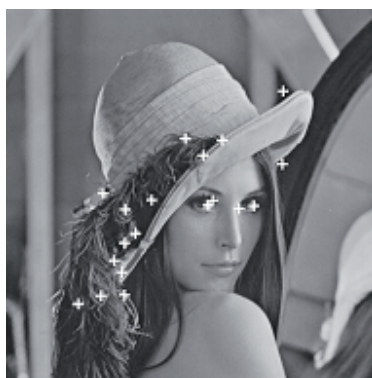
شکل ۵-۱: (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر الگو.

۵-۲-۱ درج الگو

در این روش، شروع کار با استخراج ویژگی‌های تصویر توسط sift خواهد بود که در بخش ۳-۳، به آن پرداخته بودیم. همان‌طور که در بخش فوق بیان شد مشخصه‌های به‌دست آمده از توصیف‌گرهای sift، مستقیماً برای پروسه‌ی الگوگذاری مناسب نیستند، چراکه تعداد و نحوه‌ی توزیع مشخصه‌ها به محتویات و بافت تصویر وابسته هستند [۱]. علاوه‌براین، بازیابی تصویر در روش پیشنهادی ما، احتیاج به مشخصه‌های پایدارتری دارد. بنابراین، آن‌دسته از مشخصه‌ها را که در برابر حملات شکننده هستند را حذف می‌نماییم. برای انجام این‌کار، از معیار فاصله اقلیدسی جهت تطبیق دادن یک نقطه مشخصه بین تصویر اصلی و تصویر دست‌کاری شده استفاده می‌نماییم. اگر نسبت اولین نزدیک‌ترین و دومین نزدیک‌ترین فاصله از حد‌آستانه کمتر بود، تطبیق با موفقیت انجام شده‌است. اگر اندازه حد‌آستانه را کم در نظر بگیریم، تعداد نقاط کمتر و مشخصه‌های کلیدی بسیار پایدارتری به‌دست می‌آوریم که این مساله باعث بهبود کارایی در مرحله بازیابی تصویر می‌گردد. بعد از انجام این پروسه مجموعه نقاط تطبیق‌یافته Ω_1 ، بدست می‌آید. البته تمام نقاط بدست آمده دقیق نیستند، در بخش ۵-۲-۲ به معرفی روشی جهت حذف نقاط با دقت پایین خواهیم پرداخت. در شکل ۵-۲، نقاط مشخصه تطبیق یافته بین تصویر اصلی و تصویر دست‌کاری شده با اعمال حملات مختلف، نمایش داده شده است.



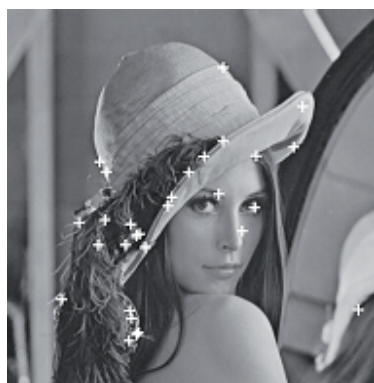
(ب)



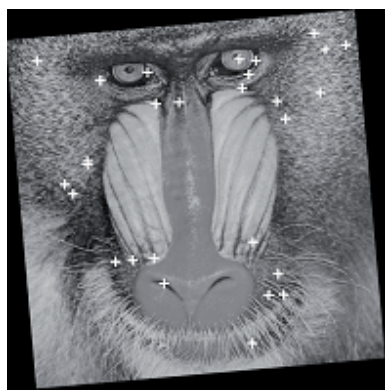
(الف)



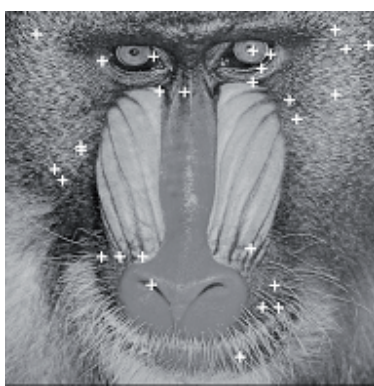
(د)



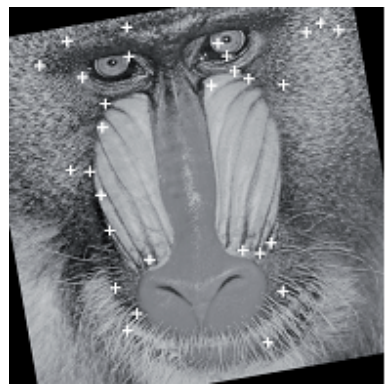
(ج)



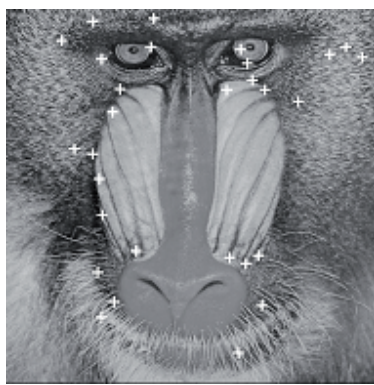
(و)



(ه)



(ح)



(ز)

شکل ۵-۲: نقاط تطبیق یافته با استفاده از sift: الف، ج، ه، ز، تصاویر اصلی هستند. ب، تصویر چرخش یافته با زاویه ۳۰ درجه و بریده شده است، د، تصویر تحت حمله shearing با فاکتورهای $x 1\%$ و $y 1\%$ است، و، چرخش ۵ درجه تصویر و در نهایت، ح، چرخش ۱۰ درجه و برش تصویر را نمایش می‌دهد.

برای درج الگو، سه زیر تصویر هم سائز با الگو که در این جا 64×64 می باشد، از مرکز تصویر اصلی انتخاب می‌نماییم. علت انتخاب زیر تصویرها از مرکز تصویر اصلی این است که تا حد ممکن در برابر تغییرات هندسی همچون قطعه کردن و برش، مقاومت بیشتری داشته باشد.

برای درج الگو، به هر زیرتصویر به عنوان یک کانال مستقل ارتباطی نگاه می‌گردد و برای بهبود مقاومت الگوگذاری، تمام زیرتصویرهای انتخاب شده یک نسخه مشابه از الگو را حمل می‌نمایند.

درج الگو در زیرباند فرکانسی HH تبدیل موجک گسسته انجام می‌گردد، زیرا با اعمال بر روی این زیرباند در هر مرحله نتایج به دست آمده از نظر دقت و سرعت اجرا نسبت به نتایج اجرا روی سایر زیرباندها بهینه بوده است. در کارهای انجام شده‌ی گذشته استفاده از زیرباند LL، به علت آن که تقریبی از تصویر اصلی می‌باشد، مرسوم بوده است اما با اعمال فرایند درج روی هر چهار زیرباند نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که انتخاب زیرباند LL و HH در برابر حملات و خرابی‌های هندسی نتایج تقریباً مشابهی دارند اما سرعت اجرا در زیرباند HH بیشتر است و علت آن جزییات کمتر این زیرباند است که حجم محاسباتی را تا حدودی کمتر می‌نماید، همچنین دقت درج الگو در این زیرباند از سایر زیرباندها بیشتر است، چرا که این زیرباند مختص جزییات قطری تصویر است که کمترین تاثیر را بر روی دید انسانی تصویر می‌گذارد. لذا در روش پیشنهادی از این زیرباند برای درج الگو استفاده نموده‌ایم.

در نهایت با استفاده از تکنیک تجزیه نقاط منفرد، نقاط منفرد تصویر اصلی و الگو استخراج شده و با استفاده از فرمول زیر نقاط منفرد الگو با نقاط منفرد زیر باند HH از تصویر اصلی جایگزین می‌گردد.

$$S_s[2i + 1] = S_w[i] \quad i \geq 0; \quad (1-5)$$

که در این جا S_s نقاط منفرد زیرباند HH و S_w نقاط منفرد الگو را نشان می‌دهد.

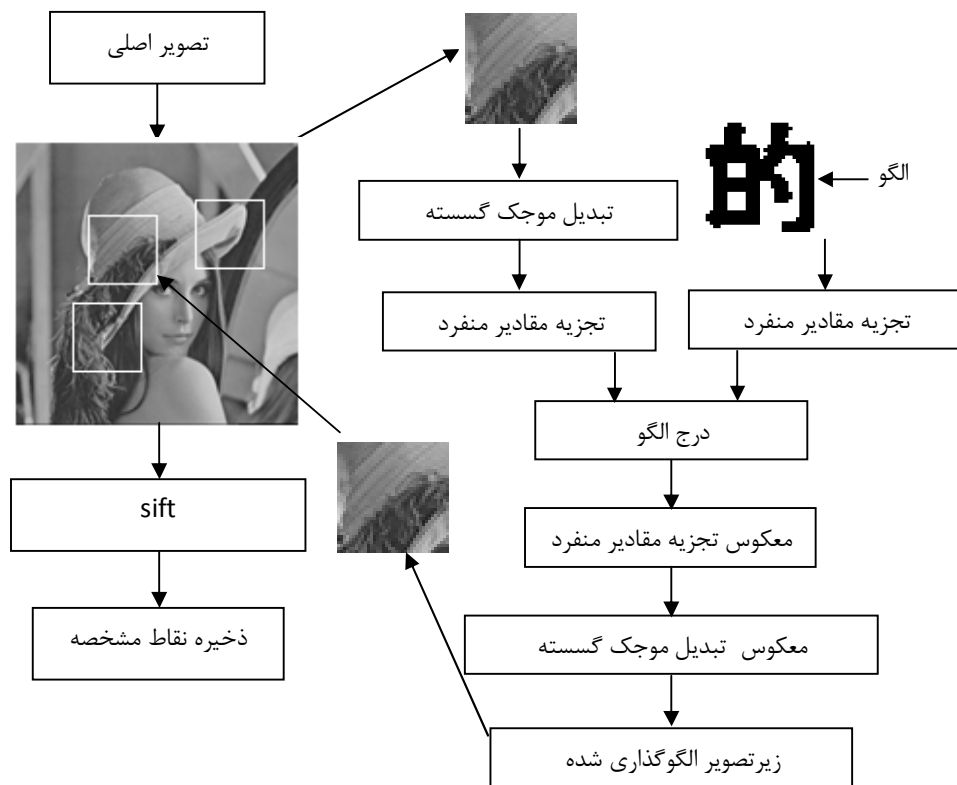
نقاط منفرد الگو را به صورت یکی در میان بین نقاط منفرد زیرباند HH درج می‌کنیم که این کار به غیرقابل مشاهده بودن الگو پس از الگوگذاری کمک می‌کند.

فرایند درج الگو در تصویر ۵-۳، نمایش داده شده است و به صورت گام به گام در ادامه به توضیح آن خواهیم پرداخت.

گام ۱: استخراج ویژگی‌های پایدار تصویر اصلی و ذخیره آن.

برای هر یک از سه زیر تصویر انتخابی مراحل زیر را انجام می‌دهیم:

گام ۲: اعمال تبدیل موجک گسسته و به دست آوردن مجموعه ضرایب فرکانسی تصویر: $HL1$, $LH1$, $LL1$ و $HH1$ (شکل ۵-۴).



شکل ۵-۳: فرایند درج الگو با الگوریتم پیشنهادی.

LL1	LH1
HL1	HH1

شکل ۵-۴: مجموعه ضرایب موجک انتخاب شده روی تصویر اصلی.

گام ۳: تجزیه نقاط منفرد را روی زیرباند HH1 اعمال می‌نماییم. در نتیجه می‌توان HH1 را به صورت زیر نوشت:

$$I_s \Rightarrow U_s S_s V_s^T \quad (۲-۵)$$

گام ۴: تجزیه نقاط منفرد را روی الگو اعمال می‌نماییم:

$$W \Rightarrow U_w S_w V_w^T \quad (۳-۵)$$

گام ۵: تغییر مقادیر منفرد زیرباند HH1 تصویر اصلی بر طبق مقادیر منفرد الگو (در این جا $\alpha_s = 0.1$) را در نظر می‌گیریم).

گام ۶: اعمال معکوس تبدیل موجک گسسته برای به‌دست آوردن زیرتصویر الگوگذاری شده.

گام ۷: جای‌گذاری زیرتصویر الگوگذاری شده در تصویر اصلی.

۵-۲-۲ بازبازی تصویر

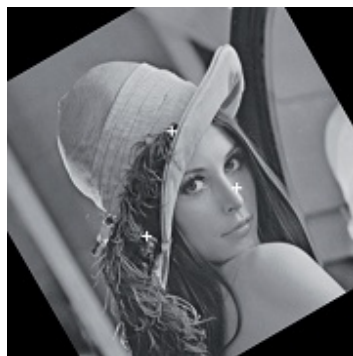
قبل از انجام فاز تشخیص الگو، توصیف‌گرهای sift، برای بازبازی تصویر تقریبی از تصویر اصلی، استخراج می‌گردند. یک تبدیل خطی شامل چرخش، تغییر مقیاس، انتقال و ... از (x, y) به (x', y') را می‌توان با استفاده از ماتریس همگن زیر نوشت [۴۰]:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} \quad (۴-۵)$$

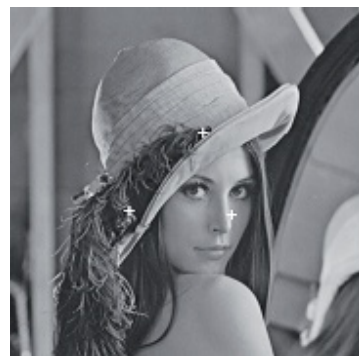
در این جا (x', y') فضایی از تصویر دست کاری شده و (x, y) فضای تصویر اصلی است. برای به دست آوردن تقریبی از تصویر اصلی می بایست ماتریس A را حل نماییم. برای حل کردن ماتریس A ، سه جفت نقطه از تصویر اصلی و سه جفت نقطه متناظر با آن ها از تصویر دست کاری شده نیاز داریم. یک مجموعه پایدار از نقاط مشخصه sift تصویر که در برابر چرخش، فشرده سازی JPEG و سایر فیلترینگ ها و حملات نویزی مقاوم است، شکل می دهیم (مجموعه Ω_1). سپس سه جفت از آن ها را از مرکز تصویر انتخاب می نماییم تا در برابر حملاتی چون قطعه کردن، مقاوم باشد. پس از آن سعی می کنیم تا نقاط کلیدی به دست آمده از تصویر اصلی را با نقاط کلیدی به دست آمده از تصویر دست کاری شده تطبیق دهیم. اگر سه جفت از آن ها به صورت موفقیت آمیز تطبیق یافتند، از این سه جفت برای حل ماتریس A استفاده می نماییم. با استفاده از ماتریس تبدیل، می توان خرابی ها را در یک مرحله شناسایی نمود. نقاطی از مجموعه نقاط Ω_1 که در این مرحله تطبیق نمی یابند را حذف می نماییم و مجموعه Ω_2 ، بدست می آید که تمام نقاط آن تطبیق یافته اند. در شکل ۵-۵، کارایی بازیابی تصویر تحت خرابی های هندسی متفاوت با استفاده از این متد نمایش داده شده است. پروسه ی بازیابی تصویر، به صورت کاملاً اتوماتیک و بدون مداخله انجام می گردد.



الف (۳)



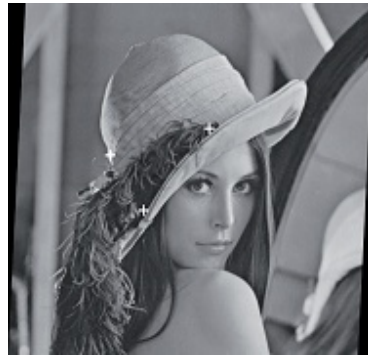
الف (۲)



الف (۱)



ب(۱)



ب(۲)



ب(۳)



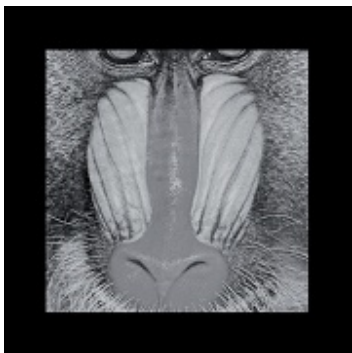
ج(۱)



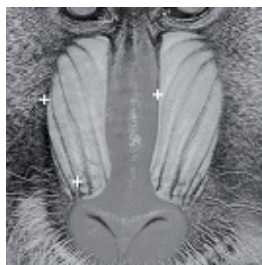
ج(۲)



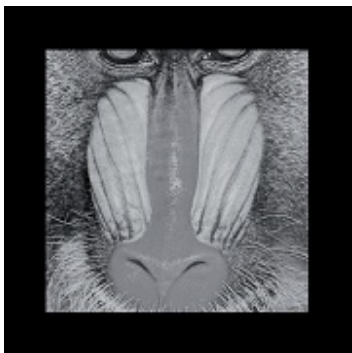
ج(۳)



د(۱)



د(۲)



د(۳)

شکل ۵-۵: کارایی بازیابی تصویر تحت خرابی‌های هندسی متفاوت: الف(۱)، ب(۱)، ج(۱) و د(۱) تصاویر اصلی به همراه نقاط مشخصه انتخاب شده برای بازیابی تصویر، الف(۲)، ب(۲)، ج(۲) و د(۲) به ترتیب تحت حملات چرخش-قطعه کردن (۳۰ درجه، 512×512 ، shearing (۵٪ روی محور X ها)، چرخش (۹۰ درجه) و قطعه کردن مرکزی تصویر (۵٪)، الف(۳)، ب(۳)، ج(۳) و د(۳) تصاویر بازیابی شده.

۵-۲-۳ استخراج الگو

در روند استخراج الگو، اگر الگو را در یک زیرتصویر تشخیص دهیم، دیگر احتیاجی به ادامه روند نیست و می‌توانیم ادعا کنیم الگو در تصویر موجود است. همچنین برای تشخیص الگو احتیاجی به تصویر اصلی نداریم، و تنها به اطلاعاتی که در حین درج الگو ذخیره کرده‌ایم، نیاز داریم.

فرایند استخراج الگو را در شکل ۵-۶ نمایش داده‌ایم و در زیر به صورت گام به گام شرح خواهیم داد:
گام ۱: اعمال sift بر روی تصویر دست‌کاری‌شده و استخراج مشخصه‌ها و به‌دست آوردن نقاط تطبیق یافته بین تصویر اصلی و تصویر دست‌کاری‌شده و بازیابی تقریبی از تصویر اصلی با استفاده از متد مطرح شده در بخش ۵-۲-۲.

پس از انتخاب هر زیرتصویر مراحل زیر را برای آن انجام می‌دهیم، اگر الگو در یک زیرتصویر تشخیص داده شود، به پروسه خاتمه داده و زیرتصویرهای باقی‌مانده را جستجو نمی‌نماییم.
گام ۲: اعمال تبدیل موجک گسسته و به‌دست آوردن مجموعه ضرایب فرکانسی تصویر: LL1, LH1, HL1 و HH1.

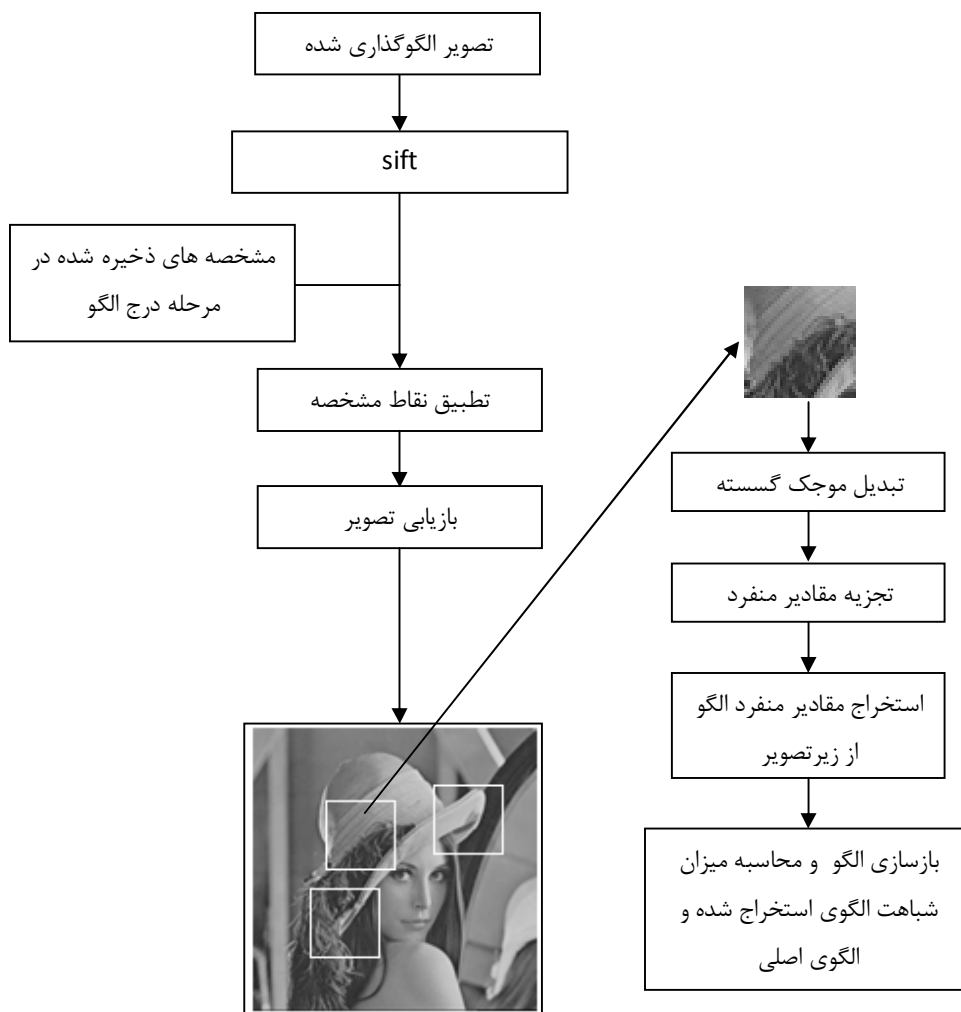
گام ۳: تجزیه نقاط منفرد را روی زیرباند HH1 اعمال می‌نماییم.

گام ۴: استخراج مقادیر منفرد تصویر الگو از زیرباند HH1.

$$\hat{S}_{ws} \Leftarrow \frac{\hat{S}_s - S_s}{\alpha_s} \quad (5-5)$$

گام ۵: بازسازی الگو و محاسبه میزان شباهت بین الگوی اصلی و الگوی استخراج شده به صورت زیر:

$$\hat{W}_s \Leftarrow U_w \hat{S}_{ws} V_w^T \quad (6-5)$$



شکل ۵-۶: فرایند استخراج الگو با الگوریتم پیشنهادی.

۵-۲-۴ نتایج تجربی

نتایج اجرای روش ارائه شده بر روی تصویر سیاه و سفید ۸ بیتی "lena" با سایز 256×256 و تصویر سیاه و سفید ۸ بیتی صفر با سایز 64×64 را به عنوان الگو، در این بخش آورده ایم.

به منظور محاسبه کارایی روش ارائه شده از دو معیار ارزیابی استفاده می نماییم که در بخش ۲-۴-۱ و ۲-۴-۲ به معرفی آن ها پرداخته ایم. معیار اول نسبت بیشینه سیگنال به نویز است که به عنوان معیاری کارآمد

از شباهت دید بین تصویر اصلی و تصویر الگوگذاری شده مورد استفاده قرار می‌گیرد و معیار دوم ضریب همبستگی نرمال شده است که برای محاسبه‌ی میزان مقاومت الگوریتم الگوگذاری استفاده می‌گردد. مقدار بیشینه نسبت سیگنال به نویز علاوه بر رابطه ۲-۱، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$PSNR = 10 \log_{10} 255^2 / MSE \quad (۷-۵)$$

میزان MSE که همان مینیمم مربعات خطا^۱ است به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} [I(i,j) - I'(i,j)]^2}{N_1 * N_2} \quad (۸-۵)$$

که $N_1 * N_2$ ، سائز تصویر است و I و I' به ترتیب مقدار خاکستری پیکسل تصویر اصلی و تصویر الگوگذاری شده هستند.

هرچه مقدار PSNR بزرگتر باشد، کیفیت تصویر الگوگذاری شده بهتر است.

به منظور محاسبه مقاومت الگوریتم الگوگذاری، بین الگوی اصلی w و الگوی استخراج شده w' مقایسه انجام می‌دهیم، که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد و به آن ضریب همبستگی متقابل نرمال شده می‌گویند:

$$NC = \frac{\sum_{i=0}^{M_1} \sum_{j=0}^{M_2} [w(i,j)w'(i,j)]}{\sum_{i=0}^{M_1} \sum_{j=0}^{M_2} [w(i,j)]^2} \quad (۹-۵)$$

که $M_1 * M_2$ ، سائز الگوی اصلی است. مقدار NC هرچه به یک نزدیکتر باشد، معرف آن است که مقاومت الگوریتم الگوگذاری بالاتر بوده است و مقدار NC برابر با یک بیشترین مقاومت را نشان می‌دهد.

در شکل ۷-۵، تصویر الگوگذاری شده و الگوی استخراج شده از آن با استفاده از الگوریتم پیشنهادی را در حالیکه تحت هیچ حمله‌ای قرار نگرفته‌اند نشان می‌دهد.

^۱ Minimum Square Error (MSE)



الف



ب

شکل ۵-۷: الف) تصویر الگوگذاری شده با $PSNR=49.6125$ ، ب) الگوی استخراج شده با NC برابر ۱.

در شکل ۵-۷ همانطور که نمایش داده شده است، مقدار PSNR برابر ۴۹.۶۱ است که این مقدار نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی ما، کیفیت تصویر اولیه و غیرقابل مشاهده بودن الگو را پس از الگوگذاری در تصویر اصلی به خوبی حفظ نموده است.

همچنین برای اثبات برتری زیرباند HH از مجموعه ضرایب فرکانسی تصویر نتایج اجرای الگوریتم بر روی هر زیرباند را در جدول ۵-۱ آورده‌ایم.

به منظور محاسبه‌ی مقدار مقاومت روش پیشنهادی، در برابر حملات هندسی مختلف و عملیات پردازش تصویر رایج، آن‌ها را بر روی تصویر الگوگذاری شده اعمال نموده‌ایم، سپس به استخراج الگو می‌پردازیم و نتایج آن را در جدول ۵-۲ به نمایش می‌گذاریم.

نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم پیشنهادی در نرم‌افزار مطلب R2011b به دست آمده است.

همان‌طور که نتایج در جدول ۵-۲ مشاهده می‌گردد، الگو در برابر حملات هندسی مختلف بیشترین مقاومت را دارا می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، در برابر حملات مختلف به طور متوسط ۹۸ درصد مقاومت را از خود نشان داده است که در مقایسه با نتایج سایر الگوریتم‌های مطرح ارائه شده در این زمینه بهینه‌تر می‌باشد.

جدول ۵-۱: نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی بر روی هر زیرباند فرکانسی بعد از استخراج الگو بدون اعمال حملات هندسی

تصویر میزبان زیرباند		تصویر Lena
LL	PSNR ($\alpha_s = 0.4$)	۴۲.۲۳۹۲
	زمان اجرایی (ثانیه)	۲.۴۱
LH	PSNR ($\alpha_s = 0.4$)	۴۱.۳۳۳۵
	زمان اجرایی (ثانیه)	۲.۳۶
HL	PSNR ($\alpha_s = 0.4$)	۴۱.۲۶۱۱
	زمان اجرایی (ثانیه)	۲.۳۰
HH	PSNR ($\alpha_s = 0.4$)	۴۹.۶۱۲۵
	زمان اجرایی (ثانیه)	۲.۴۰

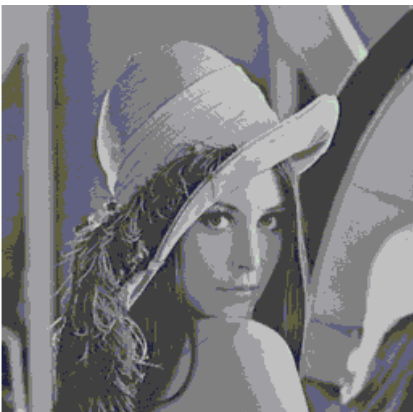
جدول ۵-۲: نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی بر روی تصویر Lena همراه با اعمال حملات هندسی متفاوت.

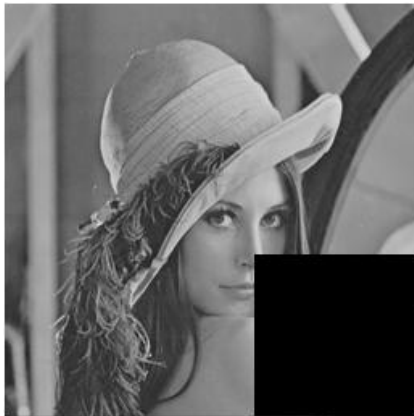
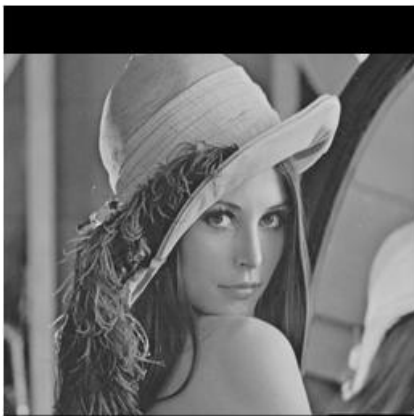
معیار ارزیابی		الگوی استخراج شده	تصویر الگوگذاری شده تحت حمله هندسی	فیلتر (حملات هندسی)
NC	PSNR			
۰.۹۸	۲۶.۹۷			Speckle (نویز افراشته)

0.99	33.30	的		Median ($\Delta \times \Delta$)
0.96	25.64	的		Salt & pepper ($\cdot \cdot \cdot$)
0.98	30.98	的		Gaussian

0.98	17.22	的		Histogram Equalization
1	22.87	的		Gamma Correction (gamma=0.5)
0.99	36.41	的		Wiener

0.94	19.37			Unsharp Masking
0.98	38.55			Gaussian Masking
0.97	19.28			Rotate (+Y)

0.98	18.94	的		Rotate (-r)
1	29.69	的		Average
0.94	27.34	的		JPEG Compression Quality=r.

۱	۱۳.۳۷	的		Cropping 1
۰.۹۹	۱۵.۱۵	的		Cropping 2
۰.۹۸	۹.۷۳	的		Invert

در جدول ۳-۵ نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی را با نتایج چند الگوریتم دیگر مقایسه می‌نماییم.

جدول ۳-۵: مقایسه نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی با نتایج به‌دست آمده از چند الگوریتم دیگر.

نوع حمله	نام حمله	روش [۱]Qi	روش پیشنهادی
فیلتر کردن تصویر	فیلتر Median (۳×۳)	√	√
	فیلتر Median (۵×۵)	-	√
	فیلتر گوسین (۳×۳)	√	√
	فیلتر میانگین	√	√
فشرده سازی JPEG	%۹۰	√	√
	%۷۰	√	√
	%۵۰	√	√
	%۴۰	√	√
فیلتر کردن تصویر + فشرده سازی %۷۰	فیلتر Median (۳×۳)	√	√
	فیلتر گوسین (۳×۳)	√	√
بهبود تصویر	Histogram Equalization	√	√
چرخش	۱ درجه	√	√
	۱۵ درجه	√	√
Shearing	%۵ y %۵ x	-	√
برش	مربعی	√	√
	مستطیلی	√	√

همان‌طور که در جدول ۳-۵ مشاهده می‌گردد روش ارائه شده در برابر حملاتی چون فیلتر median (۵×۵) و یا shaering مقاوم است، در صورتی‌که روش ارائه شده در [۱] که نسبت به سایر روش‌های مطالعه‌شده کامل‌تر بود در برابر این حملات مقاومت کمتری دارد و الگوی استخراج شده با خرابی‌های بیشتری استخراج گردیده است.

فصل ششم: نتیجه گیری

۶-۱ نتیجه گیری

در این تحقیق، به معرفی و بررسی روش‌ها و تکنیک‌های مختلف موجود در زمینه الگوگذاری مقاوم تصاویر دیجیتال پرداختیم، الگوریتم‌های مختلف ارائه شده برای مقابله با حملات هندسی را بررسی نمودیم.

در فصل اول، مقدمه مساله الگوگذاری را مطرح نمودیم و حوزه‌های مختلف الگوگذاری را معرفی نمودیم و همچنین به مشکلاتی نظیر حملات هندسی اشاره شد که مقاومت الگوگذاری را به چالش می‌کشاند و سپس به معرفی فصول بعدی پایان نامه پرداختیم.

در فصل دوم، ابتدا به معرفی مفاهیم اولیه‌ی موجود در مورد الگوگذاری پرداختیم. در ادامه، با ارائه‌ی سناریوهایی به ضرورت استفاده از سیستم‌های الگوگذاری اشاره نمودیم. همچنین به بررسی مقیاس‌های مختلف جهت بررسی نقاط ضعف و قوت روش‌های مختلف الگوگذاری پرداختیم. سپس حوزه‌های مختلف استفاده شده در روش‌های الگوگذاری را معرفی نمودیم.

در فصل سوم، به معرفی تکنیک‌های استفاده شده در این پایان نامه شامل تبدیل موجک گسسته، sift و در نهایت تکنیک تجزیه مقادیر منفرد پرداختیم.

در فصل چهارم، به کارهای انجام شده قبلی در زمینه الگوگذاری تصاویر دیجیتال برپایه ویژگی و در حوزه فرکانسی پرداختیم.

و در نهایت در فصل پنجم، به ارائه روش پیشنهادی خود پرداختیم. با توجه به مزیت تبدیل موجک گسسته نسبت به سایر تبدیل‌ها، که شباهت این تبدیل به سیستم بینایی انسان است، این حوزه را برای ارائه روش پیشنهادی خود انتخاب کردیم. چرا که، این ویژگی در سیستم‌های الگوگذاری به منظور یافتن محل‌هایی از تصویر که تغییر در آن‌ها نامحسوس‌تر از دیگر مناطق تصویر است، کارایی مهمی دارد. با استفاده از این تبدیل می‌توان مقاومت و میزان نامحسوس بودن الگو را تا حد قابل قبولی افزایش داد.

در روش الگوگذاری پیشنهادی، ابتدا زیر تصویرهایی را از نواحی مرکزی تصویر برای درج الگو انتخاب می- نماییم تا الگو در برابر حملاتی نظیر برش مقاوم‌تر باشد و سپس با استفاده از تبدیل موجک گسسته این زیرتصویرها را تا سه سطح تجزیه و در هر سطح از زیرباند قطری (HH) برای ادامه کار استفاده می‌نماییم. چراکه نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد مقاومت درج الگو در این زیرباند نسبت به سایر زیرباندها بیشتر است و نتایج بهتری را حاصل می‌نماید. پس از این مرحله تکنیک تجزیه مقادیر منفرد بر روی زیرباند انتخابی و همچنین الگو اعمال می‌گردد، سپس با جایگذاری مقادیر منفرد الگو بجای مقادیر منفرد زیرتصویر، الگو را در آن درج می‌نماییم.

برای تشخیص الگو نیز، جهت یافتن تغییرات ایجادشده و کشف حملات هندسی احتمالی به‌جای استفاده از تصویر اصلی و مقایسه آن با تصویر دست‌کاری شده، از نقاط کلیدی این دو تصویر که توسط sift به- دست می‌آیند، استفاده می‌شود و با مقایسه آن‌ها تبدیلات و تغییرات احتمالی ایجاد شده روی تصویر دست‌کاری شده کشف و اصلاح می‌گردد و سپس به استخراج الگو می‌پردازیم.

استفاده از تبدیل موجک گسسته، امکان درج الگویی مقاوم در مقابل حملات مختلف، در تصویر از طریق درج الگوی تکراری در چندین زیر تصویر از تصویر اصلی، ارائه می‌نماید و با یافتن الگو در یک زیرتصویر احتیاجی به یافتن سایر زیرتصویرهای حامل الگو، که ممکن است بر اثر حملات قابل تشخیص نباشند، نیست.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در برابر حملات مختلف، مقاومت بالایی دارد و نسبت به روش‌های ارائه شده گذشته از نظر سرعت و دقت بهینه تر می‌باشد.

۶-۲ کارهای آتی

در ادامه این تحقیق و در راستای تکمیل روش الگوگذاری می‌توان به‌جای استفاده از الگوی تصویری از الگوی بیتی، به صورت دنباله‌ای از بیت‌ها، استفاده نمود.

راه کار دیگر این که، انتخاب زیرتصویرهای مناسب برای الگوگذاری به صورت پویا انجام شود و با توجه به جزییات تصویر و الگو انتخاب گردد.

منابع

- [1] QI, X. J., QI, J., (2007) "A robust content based digital image watermarking scheme" **Signal Processing**, vol. 87, no. 6, p. 1264-1280.
- [2] Macq B.M., Quisquater J.J., (1995) "Cryptology for Digital TV broadcasting", **Proceedings of the IEEE**, vol. 83, p. 944-957.
- [۳] شاهرودی، ا، (۱۳۸۵)، پایان نامه ارشد : " بررسی روش‌های مختلف الگوگذاری نامرئی در دامنه تبدیل کسینوس گسسته و تبدیل موجک به منظور افزایش مقاومت در برابر حملات"، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف.
- [4] Kundur D., (1999), **PhD Thesis**, Graduate Departement of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto.
- [5] Zhao J., Koch E., Lou C. (1998) "In Business today and tomorrow" **Communications of the ACM**, vol. 41, p. 67-72.
- [6] Darmsteadter V., Delaige J.F., Quisquater J.J., Macq B., (1998) "Low cost Spatial Watermarking" **Computer and Graphics**, Vol. 22, Issue. 4, p. 417-424.
- [7] Kutter M. (1998) "Watermarking Resisting to Translation, Rotation and Scaling" **Proceedings of SPIE, Multimedia Systems and Applications**, vol. 3528, p. 523-531.
- [8] Pitas I., "A Method for Signature Casting on Digital Images" **Proceedings of First International Conference On Image Processing**, p. 215-218.
- [9] Voyatzis G., Pitas I. (1998) "Digital Images Watermarking Using Mixing Systems" **Computer and Graphics**, vol. 22, p. 405-416.
- [10] ÓRuanaidh J.J.K., Dowling W.J., Boland F.M (1996) "Phase Watermarking of Digital Images" **IEEE, ICIP'96**.
- [11] deRosa A., Barni M., Bartolini F., Ceppellini V., Piva A. (1999) "Optimum Decoding of Non-Additive Full Frame DFT Watermarks" **Proceedings of 3rd Workshop on Information Hiding**, vol. 1768, p. 159-17.

[12] Ramkumar M., Akansu A.N., Alatin A.A. "A Robust Data Hiding Scheme For Images Using DFT" **Proceedings of 10th International Conference on Image Processing**, p. 14.

[13] Solachidis V., Pitas I. "Circularly Symmetric Watermark Embedding in 2-D DFT Domain," **Proceedings of 9th International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing**, p. 15-19.

[14] Watson A.B. (1995) "DCT Quantization Matrices Visually Optimized for Individual Images" **Proceedings of SPIE Conference, Human Vision, Visual Processing and Digital Display VI**.

[15] Podilchuk C.I., Zeng W. (1998) "Image-Adaptive Watermarking using Visual Models" **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, Vol. 16, No. 4, p. 525-538.

[۱۶] زاهد ع، نقش نیلچی ا. (۱۳۸۷) " یک روش واترمارکینگ ترکیبی جدید برای تصاویر در دامنه

فرکانسی " فصل نامه مهندسی برق مجلسی، سال دوم، شماره اول، ص ۳۷-۴۹.

[17] K Verma H., Narain Singh A. (2009) " Robustness of the digital image watermarking techniques against brightness and rotation attack" **International Journal of Computer Science and Information Security**, vol. 5, no. 1.

[18] Niu P-P., Wang X-Y., Jin H-B., Lu M-Y. (2011) " A feature-based robust digital image watermarking scheme using bandelet transform" **Optics & Laser Technology (ELSEVIER)**, no. 43, p. 437-450.

[19] Xin Y., Liao S., Pawlaka M. (2007) "Circularly orthogonal moments for geometrically robust image watermarking" **Pattern Recognition**, vol. 40, no. 12, p. 3740-3750.

[20] Zhang L., Qian G-b., Xiao W-W., Ji Z. (2007) "Geometric invariant blind image watermarking by invariant Tchebichef moments" **Optics Express**, vol. 15, no. 5, p. 2251-2261.

[21] Xiang S., Joong K. H., Huang J. (2008) "Invariant image watermarking based on statistical features in the low-frequency domain" **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, vol. 18, no. 6, p. 777-790.

[22] Barni M. (2005) "Effectiveness of exhaustive search and template matching against watermark desynchronization" **IEEE Signal Processing Letters**, vol. 12, no. 2, p. 158–161.

[23] Liu Y., Zheng D., Zhao J. (2007) "An image rectification scheme and its applications in RST invariant digital image watermarking" **Multimedia Tools and Applications**, vol. 34, no. 1, p. 57–84.

[24] Petitcolas F.A.P., Anderson R.J., Kuhn M.G. (1998) "Attacks on copyright marking systems" in **Information Hiding: Second International Workshop. Lecture Notes in Computer Science**.

[۲۵] صیادی ا. (۱۳۸۷)، " آشنایی مقدماتی با تبدیل ویولت"، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف.

[26] Lowe D. (2004) " distinctive Image Features from Scale-Invariant keypoints" **International journal of Computer Vision**, vol. 60, no. 2, p. 91-110.

[27] Lee H.Y. (2006) "Robust image watermarking using local invariant features", **Optical Engineering**, vol. 45, no. 3, p. 037002-1:11.

[28] LUO H., SUN X., YANG H., XIA Z. (2011) " A robust image watermarking based on image restoration using sift" **Radio Engineering**, vol. 20, no. 2, p. 525-532.

[29] Raman B., Swaminathan K. (2008) " DWT-SVD based Dual Watermarking Scheme" **International Conference on the Applications of Digital Information and Web Technologies**, p. 526-531.

[30] Gan J-Y., Zhang Y-W., (2003) "A study of singular value decomposition of face image matrix" **IEEE International Conference on Neural Networks and Signal Processing**, vol. 1, p. 197-199.

[31] Shnayderman A., Gusev A., Eskicioglu A. M. (2006) "An SVD-based grayscale image quality measure for local and global assessment" **IEEE Transactions on Image Processing**, vol. 15, no. 2, p. 422-429.

[32] Li Q., Yuan C., Zhong Y-Z. (2007) "Adaptive DWT-SVD Domain Image Watermarking Using Human Visual Model" **International Conference on Advanced Communication Technology**, vol. 3, p. 1947-1951.

- [33] Bas P., Chassery JM., Macq B. (2002) "Geometrically invariant watermarking using feature points" **IEEE Transactions on Signal Processing**, vol. 11, no. 9, p. 1014–1028.
- [34] Kankanhalli M.S., Rajmohan, Ramakrishnan K.R. (1998) "Content-based watermarking of images" **Proceedings 6th ACM Int. Multimedia Conference**, p. 61–70.
- [35] Hernandez J. R., Perez-Gonzalez F. (1999) "Statistical analysis of watermarking schemes for copyright protection of images" **Proceedings IEEE**, vol. 87, p. 1142–1143.
- [36] Tang CW, Hang HM. (2003) "A feature-based robust digital image watermarking scheme" **IEEE Transactions on Signal Processing**, vol. 51, no. 4, p. 950–958.
- [37] Bhattacharjee S., Kutter M. (1998) "Compression tolerant image authentication," **IEEE International Conference Image Processing**, vol. 1, p. 435–439.
- [38] Kutter M., Bhattacharjee S.K., Ebrahimi T. (1999) "Toward second generation watermarking schemes" **IEEE International Conference Image Processing**, vol. 1, p. 320–323.
- [39] Lin C.Y., Wu M., Bloom J.A., Cox I.J., Miller M.L., Lui Y.M. (2001) "Rotation, scale, and translation resilient watermarking for images" **IEEE Trans. Image Process**, vol. 10, no. 5, p. 767–782.
- [40] YAVUZ, E., TELATAR, Z. (2008) "SIFT based geometric distortion correction method" In **Proceedings of 23rd International Symposium on Computer and Information Sciences (ISCIS'08)**. Istanbul (Turkey), p. 1-4.

Abstract

Any of hiding data within a digital product, such as sound, image and video, in order to achieve goals such as copyright protection, detecting unauthorized copies and to prevent unauthorized copies, is called Watermarking. Different methods of Image Watermarking are defined on different domains. Discrete Cosine Transform and Wavelet Transform are the most important transform domains in image watermarking.

We will introduce these two transform and discuss about some important watermarking techniques that are working in this domains. Also A new method of watermarking in discrete wavelet transform domain is introduced. In this method, the watermark is embedded in the third level wavelet coefficients of selected sub-images of host image, by using singular values decomposition technique and modifying singular values of host image with singular values of watermark image.

In addition, we present a robust method against distortions caused by geometric attacks on image that using the feature points of host image for restoring the distorted image. This method is use Scale Invariant Feature Transform technique for detecting the feature points. By this method synchronization errors due to geometric attacks that retail of common errors, are reduced.

The process of watermark embedding in discrete wavelet transform domain is performed on each sub-image. In watermark detection process, input image is restored based on saved feature points in embedding watermark phase and the watermark is extracted. Also the final diagnosis watermark, is based on the number of matched bits between extracted watermark and the original one. And at least, we evaluate the method with two Evaluation criteria, including the similarity between original image and watermarked image, and second normalized correlation to evaluate the resistance of watermarking method against geometrical attacks, evaluated the proposed method.

Practical results obtained by this method showed high resistance against common geometric attacks and image processing.

Keywords:

Watermarking, Discrete Cosine Transform, Discrete Wavelet Transform, Singular values Decomposition, Geometric Attacks, Scale Invariant Feature Transform.