خوارزمية هجينة للعلامات المائية في الصور الرقمية الملونة باستخدام DCT-DWT

م. أسامة الحاج زيدان، د. ندى أبو نقرة

جامعة إدلب – كلية الهندسة الكهربائية و الإلكترونية

الملخص

مع التطور السريع لعصر المعلومات الرقمية ، أصبحت تقنية العلامات المائية الرقمية تدريجياً وسيلة مفيدة لحماية حقوق التأليف والنشر لمنتجي الوسائط المتعددة، وتعد المتانة وعدم إدراك الصورة ذات العلامة المائية من الخصائص المهمة للعلامة المائية الرقمية. تم في هذا البحث اقتراح خوارزمية هجينة للعلامات المائية في الصور الرقمية الملونة بناءً على التحويل المويج المنفصل وتحويل جيب التمام المنفصل، نقوم أولاً بتحويل الصورة الملونة للمضيف الى الطبقات الثلاثة RGB المكونة للصورة، ثم يتم اختيار الطبقة المراد إضافة العلامة المائية إليها و تقسيمها إلى كتل ثمانية ليتم تطبيق تحويل جيب التمامDCT عليها ، وبعد ذلك يتم تطبيق التحويل المويجي المنفصل DWT بمستوى واحد للحصول على الحزم الترددية التقريبة LL و العامودية LH و الأفقية HL و القطريةHH ، ليتم اختيار المصفوفة LH الناتجة عن التحويل المويجي المنفصل، إذ يتم تضمين العلامة المائية بطريقة تسمح لنا بالتحكم بقوة خوارزمية التضمين مما يجعلها أكثر قدرة على التكيف حسب التطبيق المراد و هذا ما يميز هذه الخوارزمية عن مثيلاتها، ثم نقوم بعمليات معاكسة للتحويلات السابقة وجمع طبقات الصورة الثلاث للحصول على الصورة المعلمة. تظهر النتائج التجريبية أن عدم المرئية للخوارزمية قوية جدا، ويمكنها أن تقاوم مقاومة فعالةً هجمات العلامات المائية الشائعة.

الكلمات المفتاحية: العلامة المائية الرقمية، الصورة الرقمية الملونة، التحويل المويجي المنفصلDWT، تحويل جيب التمام المنفصل DCT، الهجمات .

Hybrid Algorithm for Watermarks in Digital Color Images Using DCT-DWT

Osama Alhaj Zeidan, Dr. Nada Abo Neqra

Faculty of Electrical and Electronic Engineering at Idleb University

Abstract

During the fast development of the information technologies, the Watermarking technique eventually became a very useful mechanism for copyrights protection for multimedia producers.

Robustness and imperceptibility at watermarked image, are considered as two important facts in the digital watermarking.

In this research, a hybrid algorithm watermark in the digital images is proposed according to Discrete Wavelet Transformation and Discrete Cosine Transformation. first, we convert the host color image to the three RGB layers that makes up the image then we choose the layer that we want to apply the watermark on and divide it into 8 blocks and add the Discrete Cosine Transformation watermark then the Discrete Wavelet Transformation is applied to choose the LH matrix resulting from the Discrete Wavelet Transformation where the watermark is included.

The watermark is included in a way that allows us to control the strength of the embedding algorithm, making it more applicable to adapt according to the desired application, and this is what distinguishes this algorithm from another, and then we reverse the previous transformations and combine the three image layers, the experimental results show that the imperceptibility of the algorithm is high quality, and it has effective robustness against common attacks of watermarks

Keywords

Digital image watermarking, Discrete Cosine Transform, Discrete Wavelet Transform, RGB (Red-Green-Blue Color Format), Attacks.

1- مقدمة

ساعد التطور في معالجات الحاسوب ومعدات التخزين في دعم الملفات التي تحتاج إلى سعة تخزينية عالية كالصور والتسجيلات الصوتية وملفات الفيديو، ففي مجال الوسائط المتعددة يظهر للصور الرقمية أثر مهم في نشر التسلية والمعرفة. فصورة واحدة تعطي توصيفاً أفضل من آلاف الكلمات، و مع النمو الهائل في استخدام الإنترنت يتم في كل لحظة إنتاج وتحزين وتبادل قدر كبير من المعلومات ، وبالنظر إلى كمية المعلومات الكبيرة فإن مشاكل جديدة بدأت تظهر، لعل أبرزها ما يتعلق بإعادة نسخ المعلومات الرقمية وإعادة نشرها بتكلفة منخفضة بطريقة قانونية أو غير قانونية، لذلك فإن مسألة حماية المعلومات من النسْخ غير الشرعي أو التلاعب أو التوزيع هو أمر بالغ الأهمية ، وهو ما يبرز الحاجة لابتكار وسائل فعالة لحماية حقوق الملكية الفكرية والنشر، وطرق مضمونة لعمليات المصادقة.

انطلاقا من هنا برزت فكرة العلامات المائية الرقمية لدى الباحثين في العقدين الأخيرين ، وتزايد عدد الأبحاث في هذا المجال على نحو كبير لابتداع طرق للتعليم المائي للوسائط المختلفة.

إنّ مصطلح التعليم المائي يحمل معانيَ مختلفة وفقاً للأدبيات المختلفة، إلا أنّ التعريف الأكثر شيوعاً هو:

ممارسة تغيير غير محسوس لجزء من البيانات من أجل تضمين معلومات في هذه البيانات .[1]

والعلامة المائية تتضمن إدخال بيانات غير مرئية من نظام الرؤية البشري تكون بمنزلة علامة، وبالتالي العلامة المائية في الصور الرقمية هي العملية التي يتم فيها إخفاء بيانات متقطعة مع الصورة ، وذلك بإجراء تغييرات على الصورة لا يمكن للعين البشرية اكتشافها.

و عامة، العلامة المائية الرقمية هي رمز مضمن داخل الصورة ، وهي بمنزلة توقيع رقمي، يمنح الصورة حق الملكية أو المصداقية.

2- تطبيقات العلامة المائية

يمكن استخدام العلامات المائية في مجموعة متنوعة من التطبيقات، فإذا كان من المفيد ربط بعض المعلومات الإضافية بالمنتج ، فيمكن تضمين هذه البيانات الوصفية علامة مائية، بالطبع هناك طرق أخرى لربط المعلومات بالمنتج، مثل وضعها في رأس ملف رقمي، أو ترميزها في رمز شريطي مرئي على صورة، أو التحدث بها بصوت عالٍ كمقدمة لمقطع صوتي، لكن هنا تظهر الأسئلة الآتية: متى تكون العلامة المائية بديلاً أفضل؟ ما الذي يمكن أن تفعله العلامة المائية ولا يمكن القيام به باستخدام تقنيات أبسط؟ تتميز العلامة المائية عن التقنيات الأخرى بثلاث خصائص مهمة، **أولاً**: العلامات المائية غير محسوسة، على عكس الرموز الشريطية فهي لا تنتقص من جماليات الصورة، **ثانيًا**: العلامات المائية لا يمكن فصلها عن الصور المضمنة فيها على عكس حقول الرأس ، ولا يتم إزالتها عند عرض الصور أو تحويلها إلى تنسيقات أخرى، **أخيرًا** : تخضع العلامات المائية للتحولات نفسها مثل الصور، وهذا يعني أنه من الممكن أحيانًا معرفة شيء عن هذه التحولات من خلال النظر إلى العلامات المائية الناتجة، هذه السمات الثلاث هي التي تجعل العلامة المائية ذات أهمية بالغة لبعض التطبيقات ، و من أهم هذه التطبيقات[4-1]:

- **مراقبة البث:** تحديد زمان عرض الأعمال مكانها على نطاق واسع من خلال التعرف على العلامات المائية المضمنة فيها.
- **تعريف المالك:** تضمين هوية صاحب حقوق الطبع والنشر للعمل .
- **إثبات الملكية:** استخدام العلامات المائية لتقديم الأدلة في منازعات الملكية.
- **تتبع المعاملات:** يمكن استخدام العلامات المائية لتحديد الأشخاص الذين يحصلون على محتوى قانوني، ولكن يعيدون توزيعه توزيعا غير قانوني.
- **مصادقة المحتوى:** تضمين معلومات التوقيع في المحتوى الذي يمكن التحقق منه لاحقًا للتحقق من عدم العبث به.
- **التحكم في النسخ:** استخدام العلامات المائية لإخبار أجهزة التسجيل بالمحتوى الذي لا يمكن تسجيله.

- **التحكم في الجهاز:** استخدام العلامات المائية لجعل الأجهزة تتفاعل مع المحتوى المعروض[3-1] .

3- متطلبات العلامة المائية للصور الرقمية:

إن تصميم نظام مثالي للعلامة المائية يلبي متطلبات العلامات المائية كلها، أمر بالغ الصعوبة لأن هذه المتطلبات يعارض بعضها بعضا، ومن الصعب تحقيقها في اللحظة ذاتها، لذلك من الضروري إعطاء الأولوية لكل شرط من متطلبات العلامة المائية منفصلا، والذي يجب إجراؤه باهتمام خاص، وتحليل دقيق للتطبيق المراد.[3]

تحتوي العلامة المائية على المتطلبات الآتية:

- **عدم الإدراك (الرؤية):**

يجب ألا تكون العلامة المائية مرئية في الصورة في ظل ظروف العرض النموذجية، ويجب ألا تؤثر على متانة الصورة المضيفة [7,11]، و يعرف عدم الإدراك بأنه مقدار التشويه الذي يتم حقنه عن طريق تضمين العلامة المائية، ويمكن التعبير عن عدم الإدراك بقياس الجودة أو الدقة، و التي تقيس التشابه بين الكائنات الأصلية والعلامات المائية.[3]

- **المتانة:**

و يقصد بها قدرتنا على اكتشاف العلامة المائية بعد أن خضعت الصورة لعمليات معالجة خطية أو غير خطية عن قصد أو عن غير قصد مثل الضغط والقص والترشيح والضوضاء؛ لذلك يجب أن تكون العلامات المائية قوية ضد مجموعة متنوعة من هجمات مماثلة. [3,7,11]

- **السعة أو حمولة البيانات:**

يجب أن تكون تقنية العلامة المائية قادرة على السماح بإدراج علامات مائية متعددة في الصورة، مع استمرار إمكانية التحقق من كل علامة مائية تحققا مستقلا ويمكن اكتشافها بنجاح أثناء الاستخراج.[7,11]

- **الأمان:**

يمكن تفسير أمان تقنيات العلامات المائية بطريقة تأمين تقنيات التشفير نفسها، ومن ثم فإن تقنية العلامة المائية تصنف بأنها آمنة، إذا كانت معرفة الخوارزمية الدقيقة لتضمين العلامة المائية و استخراجها لا يساعد طرفًا غير مصرح له في اكتشاف وجود العلامة المائية أو إزالتها دون معرفة المفتاح السري.[7,11]

4- تصنيف العلامة المائية:

هناك خطوتان رئيسيتان في عملية وضع العلامات المائية الرقمية: (1) تضمين العلامة المائية ، إذ يتم إدخال علامة مائية في صورة مضيفة، و (2) استخراج العلامة المائية، يتم سحب العلامة المائية من الصورة، ونظرًا لوجود عدد كبير من خوارزميات العلامات المائية التي يتم تطويرها، فمن المهم تحديد بعض المعايير لتصنيفها من أجل فهم كيفية تطبيق المخططات المختلفة.[2]

يتم تصنيف تقنيات العلامات المائية الرقمية إلى خمس فئات وفقًا لخصائص العلامات المائية المضمنة وهي:

- **العمياء وغير العمياء:** يقال إن تقنية العلامة المائية تكون عمياء إذا لم تتطلب الوصول إلى البيانات الأصلية غير المميزة (صورة ، فيديو ، صوت ، إلخ) لاستعادة العلامة المائية، وعلى النقيض من ذلك يُقال : إن تقنية العلامة المائية غير عمياء إذا كانت البيانات الأصلية مطلوبة لاستخراج العلامة المائية.[2]

- **المرئية و غير المرئية (عدم الإدراك):** يُقال إن العلامة المائية يمكن إدراكها إذا كان المقصود أن تكون العلامة المائية المضمنة مرئية، فعلى سبيل المثال: ثمَّ شعار مُدرج في زاوية الصورة، وفي المقابل يتم تضمين علامة مائية غير محسوسة في صورة مضيفة بخوارزميات معقدة وغير مرئية للعين المجردة.[2] .
- **الخاص والعام:** من أجل تحقيق مستوى كافٍ من الأمان، عادةً ما يتم التحكم في تضمين العلامة المائية واستخراجها بمفتاح سري Key بطريقة مماثلة لأنظمة التشفير، إذ يمكننا تمييز مخططات العلامات المائية في فئتين على أساس ما إذا كان يتم استخدام مفتاح متماثل أو غير متماثل أثناء التضمين والاستخراج ، يكون المفتاح **متماثلا:** عندما يتم تضمين كل من العلامات المائية واستخراجها باستخدام المفتاح K نفسه، و**غير متماثل:** على نقيض الحالة السابقة ، وكما يمكن استخراج هذه العلامات المائية باستخدام مفتاح يختلف عن المفتاح المستخدم في مرحلة التضمين، وعادة يتم استخدام زوج من المفاتيح في هذه الحالة: مفتاح خاص لإنشاء علامة مائية للتضمين، ومفتاح عام للاستخراج. [12].
- **المتانة والهشاشة:** تتحدد قوة العلامة المائية المخفية في قدرتها على البقاء بعد الهجمات المختلفة التي تتعرض لها، مثل الهجمات المقصودة أو غير المقصودة، إذ تهدف الهجمات المقصودة إلى تدمير العلامة المائية، في حين أن الهجمات غير المقصودة لا تنوي صراحةً تعديلها، ونظرا لأغراض التضمين يمكن تصنيف العلامات المائية إلى ثلاثة أنواع: (1) قوي ، (2) شبه هش ، (3) هش.

العلامات المائية القوية مصممة لتتحمل التعديلات المقصودة (الخبيثة) وغير المقصودة (غير الضارة) للصورة، وتُستخدم العلامات المائية القوية عادةً لحماية حقوق الطبع والنشر لإعلان الملكية الشرعية. [2،3،5،6]

العلامات المائية شبه الهشة مصممة لاكتشاف أي تعديل غير مصرح به ، وفي الوقت نفسه تسمح ببعض عمليات معالجة الصور. يتم استخدامها للمصادقة الانتقائية التي تكتشف التشويه غير المشروع به بينما تتجاهل تطبيقات التشويه المشروعة.

بينما تم اعتماد علامات مائية هشة للكشف عن أي تعديل غير مصرح به، إذ تهتم تقنيات العلامات المائية الهشة بالتحقق الكامل من السلامة، لذا سيؤدي أدنى تعديل للصورة المميزة بالعلامة المائية إلى تغيير أو تدمير العلامة المائية الهشة[2].

- **المجال المكاني والمجال الترددي:** هناك مجالان لتضمين العلامات المائية في الصور: المجال المكاني والمجال الترددي, ففي المجال المكاني ، يمكننا ببساطة إدخال علامة مائية في صورة مضيفة عن طريق تغيير المستويات الرمادية لبعض وحدات البكسل في الصورة المضيفة؛ يتميز هذا المجال بمزايا قلة التعقيد وسهولة التنفيذ، ولكن يمكن اكتشاف المعلومات المدرجة بسهولة باستخدام تحليل الكمبيوتر أو يمكن مهاجمتها بسهولة، و يمكننا تضمين العلامة المائية في معاملات الصورة المحولة في المجال الترددي، إذ تشمل التحولات تحويل جيب التمام المنفصل وتحويل فوريه المنفصل وتحويل المويجة المنفصل [4-1].

5- تقنيات المجال الترددي:

ينقل المجال الترددي الصورة إلى تمثيل التردد الخاص بها ويتم تقسيم الصورة إلى نطاقات تردد متعددة، ويمكن أن توفر العلامة المائية المضمنة في مجال التردد للإشارة مزيدًا من المتانة مقارنة بالمجال المكاني، و يعد هذا النوع قوياً ضد الهجمات مثل الضغط، والاقتصاص بخلاف المجال المكاني، ويمكن استخدام عددا من التحويلات القابلة للعكس مثل تحويل جيب التمام المنفصل (DCT)، وتحويل المويجة المنفصل (DWT). علما أن هذه التحولات لها خصائصها الخاصة وتمثل الصورة بطرق مختلفة.[2,4]

تحويل جيب التمام المنفصل (DCT):

تحويلات جيب التمام المنفصلة (DCT) هي تقنية لتحويل الإشارة إلى مكونات تردد أولية، وهو يمثل الصورة مجموعا من أشباه الجيوب ذات الأحجام والترددات المتفاوتة؛ فعلى سبيل المثال لتكن صورة الدخل x، ومعاملات الخرج الخاصة تعطى بالعلاقة y هي [10-4]:

$$y(u,v) = \sqrt{\frac{2}{M}}\ \sqrt{\frac{2}{N}}\ \alpha_u\alpha_v \sum_{m=0}^{M-1}\ \sum_{n=0}^{N-1} x(m,n) \cos\frac{(2m+1)u\pi}{2M}\ \cos\frac{(2n+1)v\pi}{2N}$$

(1)

Where

$$\alpha_i = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & i = 0 \\ 1 & i = 1,2,\dots.,N-1 \end{cases}$$

صورة الإدخال x هي N بكسل عرضًا بارتفاع M بكسل $x(m,n)$ هي شدة البكسل في الصف M والعمود N. $y(u,v)$هو معامل DCT في الصف u والعمود v من مصفوفة DCT.

في هذا النوع من التحويل تقسم الصورة إلى كتل غير متداخلة من 8×8 وتطبق DCT على كل كتلة فينتج عنه ثلاثة نطاقات فرعية للتردد: ترددات منخفضة ومتوسطة وعالية في كل كتلة كما هو موضح في الشكل(1).

يكمن جزء كبير من طاقة الإشارة في الترددات المنخفضة التي تحتوي على أهم الأجزاء المرئية في الصورة، ويمكن إزالة المكونات عالية التردد بسهولة من خلال هجمات الضغط والضوضاء.

يتم تضمين العلامة المائية عن طريق تعديل معاملات نطاقات التردد المتوسطة بحيث لا تتأثر رؤية الصورة، ولا تزال العلامة المائية عن طريق الضغط.[4]

LF	LF	LF	MF	MF	MF	MF	HF
LF	LF	MF	MF	MF	MF	HF	HF
LF	MF	MF	MF	MF	HF	HF	HF
MF	MF	MF	MF	HF	HF	HF	HF
MF	MF	MF	HF	HF	HF	HF	HF
MF	MF	HF	HF	HF	HF	HF	HF
MF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF
HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF

الشكل(1): توزع الترددات في تحويل DCT، LF = low-frequency coefficients ، MF = middle-frequency coefficients; HF = high-frequencycoefficients.

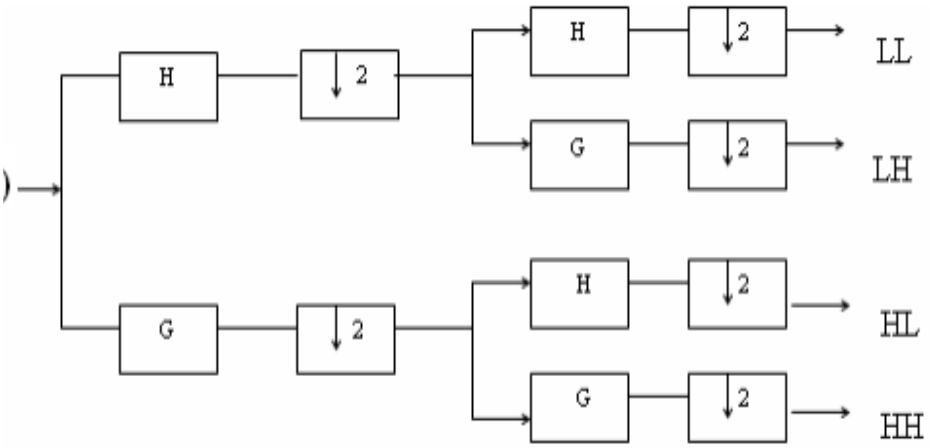
تتم إعادة بناء الصورة عن طريق تطبيق معكوس DCT على كل كتلة باستخدام معاملات النطاقات الفرعية للترددات الثلاثة بما في ذلك المعاملات المعدلة وفقًا للمعادلة(2).[4-10]

$$x(m,n) = \sqrt{\frac{2}{M}}\ \sqrt{\frac{2}{N}}\ \sum_{m=0}^{M-1}\ \sum_{n=0}^{N-1}\ \alpha_u \alpha_v y(u,v) \cos\frac{(2m+1)u\pi}{2M} \cos\frac{(2n+1)v\pi}{2N} \quad (2)$$

تعد تقنيات العلامات المائية القائمة على DCT أكثر قوة مقارنة بتقنيات العلامات المائية للمجال المكاني البسيط.

تحويلات الموجة المنفصلة (DWT):

التحويل المويجي المتقطع ثنائي الأبعاد (DWT) هو صيغة رياضية تقوم بتحويل الصورة من المجال المكاني إلى المجال الترددي، إذ يتم حساب DWT للصورة I(m,n) عن طريق تمريرها عبر سلسلة من المرشحات، كما هو موضح في الشكل(2).[4]

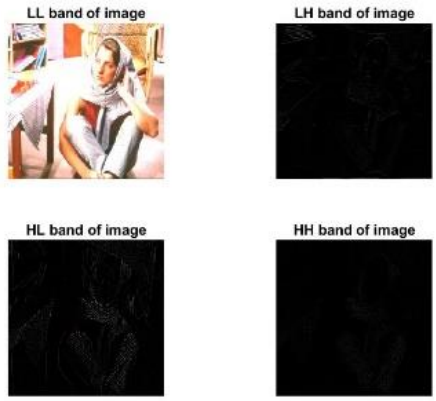


الشكل(2): عمليات DWT

يتم تمرير العينات من خلال مرشح تمرير منخفض H، ومرشح تمرير عال G، والإشارة التي تنتج من كل مرشح لها عدد العينات نفسه مثل الإشارة الأصلية، فالنتيجة هي إشارة مع ضعف عدد العينات، ويتم حل ذلك باستخدام "تقليص عدد العينات" إذ نتخلص من نصف العينات، إذ يشار الى مسألة تقليص عدد العينات باستخدام الرمز ↓.

يعطي ناتج مرشح التمرير المنخفض معاملات التقريب، وهي النطاق الفرعي (LL)، وهي مكونات عالية النطاق وذات تردد منخفض يمثل محتواها أهم جزء في الإشارة، ويعطي ناتج مرشح التمرير العالي معاملات التفاصيل والنطاقات الفرعية (LH و HL و HH)، وهي مكونات منخفضة النطاق وعالية التردد، إذ يتم إجراء هذا التحول باستخدام مرشحات المويجات، ومن بعض الأمثلة الشائعة لمرشحات المويجات هي Haar Wavelet Filter، يمكن تكرار عملية الشكل (2) للحصول على DWT متعدد المستويات.

يتم تمرير كل معامل من خلال مرشح تمرير منخفض ومرشح تمرير مرتفع ينتج عنه عددا من المكونات. ويوضح الشكل (3) النطاقات الفرعية لـ DWT من المستوى الأول.



الشكل(3): تطبيق DWT المستوى الأول على صورة باربارا

يتم تضمين العلامة المائية في واحد أو أكثر من هذه النطاقات الفرعية عن طريق تعديل معاملاتها.

يمكن إعادة بناء الصورة باستخدام معاملات النطاقات الفرعية الأربعة بما في ذلك المعاملات المعدلة باستخدام DWT المعكوس (IDWT). تتضمن إعادة بناء المويجات أخذ العينات والترشيح، ويؤدي أخذ العينات إلى إدراج أصفار بين العينات لإطالة الإشارة.[4]

6- العمل المقترح :

في محاولة للحصول على محاسن كل من التحويلين المشار اليهما سابقا بهدف الحصول على صورة ذات متانة جيدة وعدم إدراك أفضل، ويبقى معامل الأمان نفسه معتمداً على مفتاح تشفير العلامة المائية، في حين أن موضوع السعة متعلق عملياً بحجم الصورة المضيفة.

تضمين العلامة المائية ضمن الصورة، وفق طريقة DWT_DCT:

1- بداية يتم قراءة الصورة المضيفة (صورة رقمية ملونة) و كذلك العلامة المائية المراد تضمينها و هي صورة ثنائية (1 ابيض ، 0 أسود)، كما يتم فصل الصورة الأصلية الى المكونات اللونية الثلاث RGB .

2- يتم اختيار الطبقة المراد تضمين العلامة المائية فيها.

3- نقوم بتقسيم الطبقة المختارة إلى كتل ثمانية (8×8) ليتم لاحقا إضافة بت واحد من العلامة المائية لكل كتلة .

4- إجراء تحويل DCT على كل كتلة من أجل الحصول على معاملات ترددية متمايزة إذ تحوي الزاوية العليا اليسرى على الترددات المنخفضة .

5- ثم نقوم بتطبيق التحويل المويجي المتقطع بمستوى واحد على الكتل الناتجة عن الخطوة السابقة، ليتم الحصول على الحزم الترددية التقريبية LL و العامودية LH و الأفقية HL و القطريةHH فنختار المصفوفة LH لتضمين العلامة المائية.

6- إدراج العلامة المائية وفق الخوارزمية الآتية:

نقوم بتعديل قيم معاملات التحويل المويجي المتقطع العامودية LH حسب العلاقة الآتية:

$$LH = \begin{cases} LH - \frac{K}{100} * w\,, & w = 0 \\ LH + \frac{K}{100} * w, & w = 1 \end{cases} \qquad (3)$$

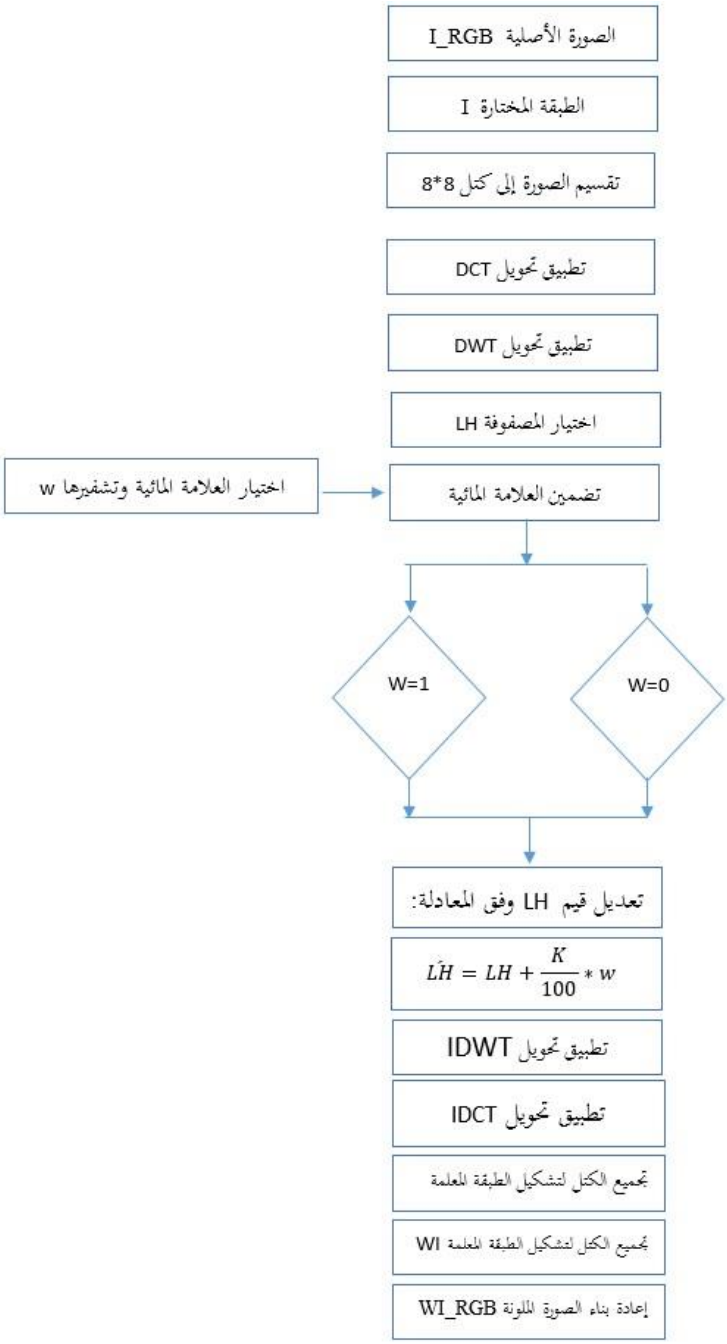
حيث w هي خانة من العلامة المائية المشفرة، كما أن وجود K عامل الجودة في العلاقة السابقة سيجعل الخوارزمية أكثر مرونة في التكيف مع التطبيقات المختلفة (كلما كانت K أصغر ستكون العلامة المائية هشة و بالعكس زيادة K ستجعل العلامة المائية قوية) .

7- نطبق التحويل المويجي العكسي IDWT بعد إضافة العلامة المائية للكتل.

8- ثم نطبق تحويل جيب التمام العكسي IDCT للحصول على الكتل التي تحوي بتات العلامة المائية , حيث تجميع هذه الكتل سيعطي الطبقة التي أجري عليها التعديلات السابقة.

9- نعيد بناء الصورة الملونة باستخدام الطبقتين الأخريتين، وبذلك نكون قد حصلنا على الصورة المعلمة مائياً Marked Image.

يوضح الشكل (4) مخططاً لخوارزمية التضمين وفق طريقة DWT_DCT.



الشكل(4): تضمين العلامة المائية وفق الخوارزمية المقترحة DWT_DCT.

استخراج العلامة المائية وفق طريقة DWT_DCT.

1- اختيار الطبقة التي تم تضمين العلامة المائية فيها.

2- تقسيم الطبقة إلى كتل ثمانية.

3- نطبق تحويل DCT على كل كتلة من الصورة الأصلية والصورة المعلمة.

4- نطبق تحويل DWT على الكتلة الناتجة، في كلتا الصورتين، من الخطوة 3 فنحصل على أربع مصفوفات LLw, LHw, HLw , HHw.

5- نحسب الفرق بين متوسط الكتلة المعلمة ومتوسط الصورة الأصلية.

$$diff = mean(LHw) - mean(LH) \quad (4)$$

6- نعرف الخانة الحالية من العلامة المائية المستخرجة كما يأتي:

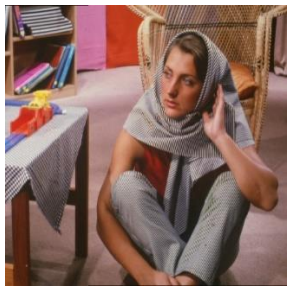
$$\acute{w} = \begin{cases} 1 & if \ \ diff \geq 0 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

7- بإعادة الخطوات السابقة على كل كتلة نحصل على خانات العلامة المائية المستخرجة $\acute{w}$ كلّها.

الشكل (5): استخراج العلامة المائية وفق طريقة DWT_DCT.

7- تقييم الأداء:

لتقييم أداء الخوارزمية المقترحة DWT-DCT قمنا باختيار أربع صور معيارية مستخدمة في تطبيقات معالجة الصور الرقمية، هذه الصور ملونة 24 Bit/Pixel و بأبعاد 512×512 (لينا – الطائرة – باربارا – الفلفل) أما العلامة المائية فهي ثنائية (أبيض و أسود) بأبعاد 64×64.



لينا باربارا فلفل الطائرة

الشكل (6): قاعدة بيانات الصور للدراسة التجريبية

الشكل (7): العلامة المائية المضمنة

نقوم بتطبيق الخوارزمية الهجينة DWT-DCT على الصور الأربعة من خلال تضمين العلامة المائية المذكورة سابقا وذلك بأخذ قيم مختلفة للمعامل K كما يظهر الجدول (1):

لتقييم أداء الطريقة المستخدمة من حيث عدم الإدراك والمتانة، نعتمد على معياريين أساسيين: المعيار الأول هو ذروة الإشارة إلى نسبة الضوضاءPSNR التي تقدمها المعادلة(7). والتي تستخدم لقياس جودة الصورة ذات العلامة المائية، والمعيار الثاني هو معامل الارتباط المعياري NC الذي قدمته المعادلة. (8) الذي يستخدم لقياس التشابه والاختلاف بين العلامات المائية الأصلية والمستخرجة تحت هجمات مختلفة.

ذروة الإشارة إلى نسبة الضوضاءPSNR :

تعدُّ الصور ذات المقاييس الأعلى أفضل لحساب نسبة إشارة الذروة إلى الضوضاء، يتم أولاً حساب متوسط خطأ المربع MSE [7,11]:

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{mn}\sum_{i=0}^{m-1}\ \sum_{i=0}^{n-1}\|\mathrm{I(i,j)} - \mathrm{K(i,j)}\|^2 \qquad (6)$$

حيث I هي الصورة الأصلية، K هي الصورة ذات العلامة المائية التي تحتوي على $m.n$ بكسل، كما يتم حساب PSNR وفقا للمعادلة الآتية:

$$\mathrm{PSNR} = 10\,.\,log_{10}\left(\frac{MAX_I^2}{MSE}\right) = 20.log_{10}\left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}}\right) \qquad (7)$$

هنا MAX_I هو الحد الأقصى لقيمة البكسل للصورة. عندما يتم تمثيل وحدات البكسل باستخدام 8 بت لكل عينة، يكون 255.

الجدول (1): قيم PSNR بالديسبل للصور المعلمة عند قيم مختلفة للمعامل K .

K	لينا	فلفل	الطائرة	باربارا
10	54.5144	54.0032	53.3122	52.1893
20	47.2432	46.8639	46.2247	44.9527
30	43.7329	43.3651	42.6730	41.4453
40	41.2500	40.9156	40.2177	38.9850
50	39.3271	39.0154	38.3402	37.0810
60	37.7995	37.4757	36.8734	35.5387
70	36.5017	36.1872	35.6408	34.2303
80	35.3836	35.0689	35.5842	33.1177
90	34.4107	34.0869	33.6594	32.1339
100	33.5659	33.2805	32.8173	31.2141

حيث حققت الخوارزمية المقترحة مستوى عاليا من عدم الإدراك من خلال الحفاظ على جودة الصورة ذات العلامة المائية، قريبا من جودة الصورة الأصلية مع تدهور غير ملحوظ، يوضح الشكل(8) نتائج الصور ذات العلامة المائية مقارنة بالصور الأصلية. يتضح من الشكل أنه لا تدهور ملحوظ في الصورة ذات العلامة المائية. تناسب قيم نسبة ذروة الإشارة إلى الضجيج المكتسبة مع عامل القياس K عكسيا وكما نرى من خلال الجدول (1) قيم PSNR لصور الاختبار الأربعة، كانت أعلى قيمة لصورة لينا 54.5144 ديسبل، تشير هذه النتيجة إلى جودة بصرية عالية غير محسوسة للصور المعلمة، لأن PSNR البالغ 30 وما فوق يعدُّ قيمة مقبولة لتقييم جودة الصورة [6,8].

مقياس الترابط :

عندما يريد المالك التحقق من العلامة المائية في صورة تحمل علامة مائية يُحتمل أن تتعرض لهجوم، من الضروري أن تكون العلامة المائية المستخرجة واضحة، ويسهل التعرف إليها، ويتم اختبار المتانة من خلال مقارنة العلامة المائية الأصلية بالعلامة المائية المستخرجة باستخدام الترابط.

والارتباط الطبيعي (NC) هو مقياس الارتباط (القوة) للعلاقة بين متغيرين (الصور في هذه الحالة)، تتراوح قيم NC بين 0 (علاقة عشوائية) إلى 1 (علاقة خطية مثالية). هذه العلامة المائية المستخرجة قد تشبه أو لا تشبه العلامة المائية الأصلية؛ لأن الصورة ربما تعرضت للهجوم، حيث يُعرّف معامل الارتباط المعياري المستخدم لقياس التشابه على أنه [11]:

$$NC = \frac{\sum w\widehat{w}}{\sqrt{\sum w^2}\sqrt{\sum \widehat{w}^2}} \qquad (8)$$

حيث w و $\widehat{w}$ هي العلامات المائية الأصلية والمستخرجة على التوالي، ويتم الكشف عن علامة مائية معينة إذا كان الارتباط الطبيعي للعلامة المائية المستخرجة مع العلامة المائية الأصلية أعلى من مستوى مُحدد مسبقًا، و يعدُّ معامل الارتباط البالغ حوالي 0.75 أو أعلى قيمة مقبولة عموما.

Attack	Watermarked image	Extracted watermark
No attack		
JPEG compression		
Crop 1/10		
Gaussian low pass filter 9*9		

Speckle noise 0.01		
Median filtering 9*9		
Average filtering 9*9		
Salt & pepper noise 0.01		
Gaussian noise 0.01		

Brightness 0.2		
Contrast 0.5		
Unsharp filtering		
Log filtering		

الشكل(8): الصور المعلمة بعد تعرضها لهجمات متنوعة والعلامات المائية المستخرجة بعد كل هجوم.

من النتائج التي تم الحصول عليها ، لوحظ أن الخوارزمية المقترحة تعطي نسبة استعادة 100٪ للعلامة المائية عند تعرضها للهجمات الآتية: ضغط JPEG ، ومرشحات لابلاس وكذلك اللوغاريتمي ، والضجيج والسطوع والتباين، كما أنها تعطي نتائج جيدة مع مجموعة أخرى من الهجمات مثل القص ومرشح التمرير المنخفض الغوسي والمرشح المتوسط.

8- مقارنة الخوارزمية المقترحة مع الخوارزميات المرجعية :

لقياس مدى نجاح الخوارزمية المقترحة نقوم بمقارنة النتائج التي حصلنا عليها مع الخوارزميات المرجعية، و ذلك من خلال عدم المرئية عبر قيم نسبة ذروة الإشارة الى الضجيج PSNR ، و من خلال الممانعة بنسب التشابه بين العلامة المائية المستخرجة و العلامة المائية الأصلية NC .

الجدول (2): مقارنة الطريقة المقترحة مع الخوارزميات المرجعية.

Algorithm	PSNR	NC
Ravinder and et al [6]	42.93	0.978
A.F.ElGamal and et al [7]	48.12	0.99
Al-moweri and et al [8]	42.96	0.99
Bansal and et al [9]	38.59	0.97
Yuqi He , Yan Hu [10]	48.14	0.99
Proposed Method	49.02	0.99

تتطلب أنظمة العلامة المائية أن يكون هناك توازن بين عدم الإدراك و المتانة من خلال إبقاء كلٍّ من PSNR و NC في أعلى مستوى ممكن، و هذا ما حاولنا إيجاده في الخوارزمية المقترحة ، إذ توضح المقارنة بين الخوارزمية المقترحة و الخوارزميات الأخرى أن الخوارزمية المقترحة حققت جودة إدراكية عالية ومعقولة للصور ذات العلامة المائية لأن القيمة المتوسطة لـ PSNR هي 49.02 ديسبل هذه النتيجة أعلى من معظم الخوارزميات في الجدول (2)، و بمقارنة قيمة NC التي تشير إلى مدى دقة العلامة المائية التي تم استخراجها في الخوارزمية المقترحة فإن القيمة عالية مما يسمح بالحفاظ جودة العلامة المائية المستخرجة لأن قيمة NC كانت 0.99 وهو ما يقرب من 1. هذه القيمة كانت أعلى من بعض الخوارزميات الأخرى المدرجة في الجدول(2) أو تساويها.

9- الخلاصة :

في هذا البحث تم اقتراح خوارزمية قوية للعلامات المائية تعتمد على خوارزمية DCT-DWT المقترحة في الصور الرقمية الملونة، يُظهر تقييم أداء الخوارزمية المقترحة درجة عالية من عدم الإدراك من خلال الحفاظ على جودة الصورة مماثلة للصورة الأصلية بعد وضع العلامة المائية بالإضافة إلى إخفاء العلامة المائية بدرجة عالية، كما أظهر التحقق من متانة الخوارزمية المقترحة دقة عالية في الكشف في ظل هجمات عديدة.

REFERENCES

1- Ingemar J. Cox, Matthew L. Miller and Jeffrey A. Bloom, "Digital Watermarking and Steganography", Morgan Kaufmann and Elsevier Publishers, Burlington- USA, MA, 2008.

2- Frank Y. Shih, "Digital Watermarking and Steganography_ Fundamentals and Techniques", CRC Press, Boca Raton, USA, 2017.

3- Nematollahi, Mohammad Ali_Rosales, Hamurabi Gamboa_Vorakulpipat, Chalee, "Digital Watermarking Techniques and Trends", Springer, Montreal_Canada and Erlangen_ Germany, 2017.

4- Surekha Borra, Nilanjan Dey, Rohit Thanki, "Digital image watermarking_ theoretical and computational advances", CRC Press, 2019.

5- Matt L. Miller, Ingemar J. Cox, Jean-Paul M.G. Linnartz and Ton Kalker, "A Review of Watermarking Principles and Practices", Proceedings Digital Signal Processing for Multimedia Systems, Ed. K. K. Parhi and T. Nishitani, Marcell Dekker Inc., 461-485, (1999).

6- Ravinder Singh, Manish Mathuria, Kailash Rathore, and Santosh Kumar, "A Robust Color Image Watermarking using Combination of DWT and DCT", International Journal of Computer Applications, Ajmer, India, 2013.

7- A.F.ElGamal, N.A.Mosa, and W.K.ElSaid, "Block-based Watermarking for Color Images using DCT and DWT", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Vol 66, Egypt, March 2013.

8- Nasr addin Ahmed Salem Al-maweri, Wan Azizun Wan Adnan, Abd Rahman Ramli, Khairulmizam Samsudin and Sharifah Mumtazah Syed Ahmad, "A hybrid digital image watermarking

algorithm based on DCT-DWT and auto-thresholding", Wiley Online Library, Malaysia, October 2015.

9- Dimple Bansal and Manish Mathuria, "Color Image Dual Watermarking using DCT and DWT Combine Approach", IEEE ICEI, Jaipur, 2017.

10- Yuqi He, and Yan Hu, "A Proposed Digital Image Watermarking Based on DWT-DCT-SVD", Proc. IEEE IMCEC, Wuhan China, 2018.

11- Vidyasagar M. Potdar, Song Han and Elizabeth Chang, "A Survey of Digital Image Watermarking Techniques", in Proc. of the IEEE International Conference on Industrial Informatics, Perth, Australia, pp. 709-716, 2005.

12- Teddy Furon and Pierre Duhamel, "An Asymmetric Watermarking Method", IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 51, No. 4, pp. 981–995, 2003.