مواراة المعلومات في النماذج ثلاثية الأبعاد للصور

المهندس باسم سليمان يوسف*

الدكتور المهندس محمد أيمن العقاد** **الدكتور عماد فتاش*****

الملخص

مواراة المعلومات هو علم إخفاء المعطيات المُراد إرسالها ضمن ملفات معطيات أو صور أو صوت أو فيديو وقد تناولت الدراسات السابقة في هذا المجال النماذج ثنائية البعد، ولكننا سنتطرق في هذه الورقة البحثية إلى دراسة وتنفيذ خوارزميات المواراة التي تعتمد الصور ثلاثية الأبعاد كملفات غطاء، لأنها تقدم دقة وسرعة في الأداء فضلاً عن تقديمها إمكانيات لا تقدمها الطرائق ثنائية الأبعاد. ولذلك قمنا بإتباع منهجية بحث معمّقة، والتي أثمرت في نهاية المطاف طريقة للقيام بعملية تضمين المعلومات في النماذج ثلاثية الأبعاد للصور ومن ثم استرجاع هذه المعلومات وقد أسمينا هذه الطريقة وحسب الآلية المستخدمة في عملية التضمين بخوارزمية المواراة المعتمدة على الإزاحة.

الكلمات المفتاحية: المواراة، الصور ثلاثية الأبعاد، تضمين المعلومات، استرجاع المعلومات، خوارزميات المواراة.

* مقالة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الحواسيب للمهندس باسم سليمان يوسف بإشراف الدكتور محمد أيمن العقاد ومشاركة الدكتور عماد فتاش

** قسم الحواسيب والأتمتة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق.

*** قسم العلوم الأساسية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق.

1. مقدمة:

علم المواراة *Steganography* هو علم وفن إخفاء المعطيات المُراد إرسالها (ملفات نصوص أو صور أو صوت أو فيديو) داخل معطيات أخرى (ملفات نصوص أو صور أو صوت أو فيديو) بشكل احترافي دون ترك أي أثر أو شك بأن هناك رسالة سرية داخل رسالة الغطاء بالاستفادة من الخانات الثنائية غير المهمة، أو تلك التي يصعب اكتشافها في حال تم تحويرها أو بالأحرى فتح قناة اتصال سرية ضمن قناة اتصال موجودة ومعروفة. وأهم ثلاثة عناصر مستخدمة في علم المواراة هي: **ملف الغطاء** وهو ملف الصورة ثلاثية الأبعاد الذي نستخدمه في إخفاء المعطيات المطلوب إخفاؤها فيه، إذْ يتم اختياره حسب كمية المعطيات المطلوب إخفاؤها، ومدى استيعاب ذلك الملف لتلك المعطيات، مع مراعاة خفض نسبة التشوه التي تطرأ عليه عند إدخال المعطيات، بعد إخفاء المعطيات داخله. **الملف المضمَّن** وهو ملف يحتوي المعطيات المطلوب إخفاؤها، وقد يكون نصاً أو صورة، مع ملاحظة حجم تلك المعطيات ومقارنتها بملف الغطاء المستخدم، وعلى العموم لا تكاد تقارن الملفات النصية بحجمها مع ملفات الصور، ويفضل عند استخدام ملفات الصور أن تكون من نوع *JPG* أو مثيلاتها في الحجم. **خوارزمية الإخفاء** وهي الأسلوب الذي نعتمده في إخفاء المعطيات. وتعدُّ العلامات المميهة الرقمية *watermarks* رسالة مخفية داخل صورة رقمية، أو ملف صوتي، أو ملف فيديو رقمي [*9*][*10*][*11*][*12*]. ويمكن أن تكون هذه العلامة المميهة عبارة عن اسم المنتج، أو اسم الناشر، أو معطيات الشركة، أو رقم تسلسلي، أو رقم تعريف خاص بالمستثمر تضمن له حقوقه في ملكية ما اشتراه وتحميه، وقد اكتسبت العلامة المميهة الرقمية هذه الأهمية، لأنها تسهم في حفظ حقوق الطبع والنشر والتأليف والملكية في العالم الرقمي، في ظل تزايد عمليات القرصنة والنسخ غير المشروع، خاصة عبر الإنترنت. ومع تنامي التجارة الإلكترونية، تزداد الحاجة لتقنية تحفظ هذه الحقوق. والفرق الرئيسي بين فن المواراة التقليدي والعلامة المميهة **هو** أنه في الحالة الأولى يتم إخفاء المعطيات، حيث تكون هذه المعطيات هي الهدف من عملية الاتصال والتبادل، وهي التي يراد حمايتها. أمَّا في الحالة الثانية، فإن المادة الرقمية نفسها، أو الملف الرقمي ذاته، هو الهدف من عملية الاتصال والتبادل والحماية، والمعطيات المخفية في داخله تصبح جزءاً منه، وتهدف إلى الحفاظ عليه، وتنظيم عملية تبادله. لمّا كنّا سنتعامل مع ملفات الصور (الثلاثية الأبعاد كملف الغطاء والثنائية الأبعاد كملف مراد مواراته) وجب علينا تعرّف هيئات ملفات الصور، وتقسيم الصور حسب تركيب ألوانها، وبنية الصور ثلاثية الأبعاد.

كما أن مبدأ المواراة يختلف عن مبدأ التشفير فالتشفير يترك أثراً واضحاً في معالم الرسائل المرسلة، ولا يتطّلب وسطاً ثانياً لإخفاء المعطيات، فهو يغير المعالم الظاهرة للنص المُرسَل بإحدى خوارزميات التشفير الكثيرة، بحيث يصعُب فهمها بعد تشفيرها، إلاّ من قبل المرسل والمستقبل، في حين فن المواراة يتطلّب وسطاً ثانياً يتم إخفاء المعطيات داخله، ولا يشترط تغيير معالم المعطيات المرسلة.

دراسة مرجعية:

قام العديد من الدارسين بمحاولات جادة لابتكار طرائق لتنفيذ المواراة في النماذج ثلاثية الأبعاد ونذكر منهم - وليس على سبيل الحصر - كلاً من [13]:

Ryutarou Ohbuchi, Hiroshi Masuda, Masaki Aono باقتراح الطرائق الآتية:

1- Tetrahedral volume ratio (TVR) embedding

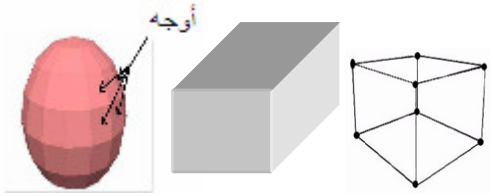
تعتمد على التضمين بشكل نسبي لحجوم السطوح التي تشكل الشبكة المضلعة

2 - Triangle similarity quadruple(TSQ)

إن المثلثات التي تتكون منها الصورة ثلاثية الأبعاد كل أربعة منها تتلاقى في ذروة واحدة فبتغيير مكان هذه الذروة تحصل عملية التضمين.

2. بنية الصور ثلاثية الأبعاد:

البعد الثالث هو العمق فلذلك نحتاج إلى 3 مركبات حتى يتم تحديد أي نقطة في الفضاء (x,y,z). والأجسام في الواقع هي عبارة عن مجموعة نقاط مختلفة متصلة ببعضها بعضاً. مثلاً نستطيع أن نعبر عن مربع عن طريق أربع نقاط رؤوس زواياه، ومن ثمَّ المربع هو عبارة عن خطوط توصل تلك النقاط فيما بينها ولو أخذنا شكلاً آخر مثل الصندوق بحيث نرى النقاط موصلة كما في الشكل(1آ)، وتسمى طريقة العرض هذه الإطار السلكي *wireframe*. لكن الصندوق ليس مجرد نقاط فقط بل هناك ألوان مختلفة لكل وجه من أوجهه بحيث تعطي الشكل العام للصندوق كما في الشكل (1ب).



(آ) (ب) (ت)

الشكل(1):(آ) تمثيل الصندوق.(ب)تمثيل الصندوق مع الألوان. (ت) كرة متعددة الأوجه

أمَّا الكرة فتتكون من أكثر من وجه يمثلون في مجموعهم شكل الكرة، ولكل وجه عدة نقاط تسمى القمم *vertices* قد يزيد أو يقل عددها لكل وجه، تكون متصلة بنقاط أخرى لوجه آخر وهكذا (في حالة الصندوق إن كل وجه يتكون من أربع نقاط). وكلما زاد عدد الأوجه لجسم معين زاد قربه من الشكل الواقعي ولكن زيادة عدد الأوجه يؤدي إلى زيادة عدد القمم لذلك الجسم مما يضيف الكثير من العمليات الحسابية التي سيقوم بها الحاسوب للتحكم بهذا الشكل والشكل(1ت) يمثل كرة متعددة الأوجه. وإضافة الألوان إلى كل وجه من الأوجه هي الطريقة الأخرى لإعطاء الواقعية على شكل الجسم المعروض وتسمى تلك الطريقة التسطيح *flattening* وهي أكثر واقعية من الطريقة الأولى. ولذلك وجب استخدام مصدر للإضاءة لأن عين الإنسان تلاحظ اختلاف الإضاءة حولها لذلك عند أخذ مصدر الإضاءة بالحسبان فإننا نحصل على نتائج قريبة من الواقع. ويمكننا تحديد مصدر الإضاءة من خلال الانعكاسات المتولدة عنه مثلاً تكون الألوان فاتحة عندما نقترب من مصدر الضوء وتميل إلى الأغمق عند الابتعاد عنه. عندما نريد أن نصنع عالماً واقعياً على الحاسوب فإننا لا نرى بداً من استخدام الأبعاد الثلاثية. في الصور ثنائية البعد الملونة يوجد لدينا ثلاث مصفوفات هي مصفوفات الألوان الرئيسية أمَّا في الثلاثي البعد فيوجد لدينا ست مصفوفات ثلاثة منها للألوان ومصفوفة النقاط (x,y,z).

2 -1 شرح أهم التقنيات في عالم الرؤية ثلاثية الأبعاد:

أولاً: الستيريوسكوب (المنظار المزدوج):

تمكّنا من تسمية هذا النمط بالمنظار المزدوج لما يقوم به من مزاوجة بين صورتين التقطتا لمشهد واحد ولكن من زاويتين مختلفتين، فتوضعان في هذا الجهاز الذي ينظر داخله المستخدم إلى الصورتين بآن واحد، فيتوهم له بأنهما صورة واحدة ثلاثية الأبعاد تسمى بالستيريوغراف *stereograph*.

من الجدير بالذكر أن مركبة مارس باثفايندر *Mars Pathfinder* الفضائية التي حطت على سطح المريخ عام 1997، ما هي إلا آلة تعتمد على مبدأ الستيريوسكوب لتشكيل صور ثلاثية الأبعاد باستخدام

3 عدسات لكل رأس تصويري من المركبة وإرسالها إلى محطة الاستقبال الأرضية.

ثانياً: الأناغليف *Anaglyph* أو طريقة التلوين الثنائي:

ربما سبق لنا وأن رأينا صورة ملونة باللون الأزرق المخضر واللون الأحمر، ومرفقاً معها نظارة خاصة، وعندما نضع النظارة نرى الصورة وكأنها ثلاثية الأبعاد، وفي الحقيقة، ما عدسات الرؤية لهذه النظارة إلّا عبارة عن مرشحين لونيين، أحدهما للون الأحمر والآخر مرشح للون الأرزق المخضر، أمَّا الصورة فهي عبارة عن مسقطين للصورة بزاويتين مختلفتين، وعندما تنظر من خلال النظارة فإن إحدى العدستين ترشّح مسقطاً وتبقي على الآخر، ومن ثمَّ، تتشكل في كل عين صورة بزاوية إسقاط مختلفة، ومن بعدها تتم المزاوجة في الدماغ لتشكيل صورة واحدة.

ثالثاً: الصورة المستقطبة ثلاثية الأبعاد:

تستفيد هذه التقنية من ظاهرة استقطاب الضوء والمقطبات، إذْ تنطوي هذه الظاهرة على السماح بترشيح الأشعة الضوئية عند ورودها إلى سطح المقطب بزاوية ما، ولا تسمح لها بالمرور إذا ما مرت بالاتجاه المعامد لتلك الزاوية، ومن ثمَّ أمكن تصميم صالات عرض خاصة تستخدم نوعين من أجهزة الإسقاط بحيث يكون إسقاطهما متعامداً فيما بينهما، فتقوم النظارات التي يرتديها المشاهدون بتكوين صور ثلاثية الأبعاد من خلال ترشيح إحدى العدستين للصورة الواردة من أحد جهازي الإسقاط ولا تسمح بإمرار الصورة الواردة من الأخرى، أمَّا الفيلم المعروض فقد تم تصويره بكاميرتين من زاويتين مختلفتين، مما يجعل المشاهد يشعر وكأنه داخل الفيلم تماماً.

رابعاً: الستيريوغرام الأوتوماتيكي *Autostereogram*:

وهو ستيريوغرام يعرض صوراً يراها المشاهد ثلاثية الأبعاد ولكن دون استخدام أي نظارة. وسنورد بعضاً من أنماط الستيريوغرامات الأوتوماتيكية:

الصور العدسية *Images Lenticular*:

بطاقة تهنئة صغيرة، تفتحها فترى وردة، تحرك البطاقة فترى أبعاداً جديدة للوردة تظهر لك، وكأنها مجسمة ... هذه هي الصورة العدسية.

إنها عبارة عن مجموعة من الصور المتماثلة والمركبة فوق بعضها بعد أن شطّرت كل منها إلى أشرطة عمودية دقيقة جداً، ومن ثم لصقت بجوار بعضها، وركبت فوقها طبقة بلاستيكية ذات ارتفاعات وانخفاضات عامودية ومتجاورة. عندما تميل البطاقة فإنك ترى صورة تمررها مجموعة من تلك الأشرطة دون غيرها بسبب ذلك الميلان، وبتغيير زاوية رؤيتك فإنك ترى صورة أخرى، بتركيب هذه الصور في الدماغ تتشكل الصورة ثلاثية الأبعاد.

النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام الحاسب:

موضة العصر في الإنتاج السينمائي، شركة تصوير ومونتاج للأفلام مؤلفة من ***4*** موظفين، وطاقم دوبلاج صوتي بعدد شخصيات الفيلم. لم نعد بحاجة للكاميرا ولا كادر التصوير.

ما على المصمم إلاّ أن يعطي بعض التفاصيل للحاسب حول الغرض الذي يرغب بتصويره تصويراً ثلاثي الأبعاد والزوايا التي يرغب بتحجيم الغرض وفقها، كل ذلك باستخدام هياكل شبكية ينشئها باستخدام الماوس وبرنامج رسومي احترافي كالـــ *Maya* مع كثير من الدقة والتفكير والإبداع، ومن ثم يترك مهمة الإضاءة والألوان والحركة والتلاؤم الكلامي للموظفين الـــ 3 الآخرين الذين سيتكفلون بالمهمة كاملة.

الهولوغرام:

يعدُّ الهولوغرام تقنية متقدمة للصور ثلاثية الأبعاد، إذْ يعتمد على فصل أشعة الليزر الصادرة من منبع ليزري إلى حزمتين، ومن ثم توجّه الحزمتان باتجاه جسم مادي ما، فترتد إحدى الحزمتين عن الجسم وتجتازه الأخرى وفقاً لمجموعة العدسات التي تمرر

من خلالها، فتسقط الحزمة التي تجتاز الجسم والتي يصدها على فيلم ضوئي واقع خلف الجسم، فنحصل على الصورتين اللتين نرغب بإيصالهما إلى الدماغ ليمزج بينهما ويكوّن صورة ثلاثية الأبعاد.

يستفاد من هذه التقنية في كثير من التطبيقات، وأهمها تجهيزات تخزين البيانات الضوئية، إذْ يمكن للصورة أن تختلف وفقاً لاختلاف الزاويا التي توجّه وفقها الحزم، مما يزيد من احتمالات الحصول على المعلومة من الوسط الضوئي ذاته، وهو ما تم تطبيقه في الأقراص الضوئية التي سنراها بين أيدينا قريباً، أي إنها سترسل إلى وحدة القراءة صوراً مختلفة من الوسط الضوئي ذاته بتغيير زاوية قراءته، ومن ثمَّ نحصل على سعات تخزينية أكثر للبيانات.

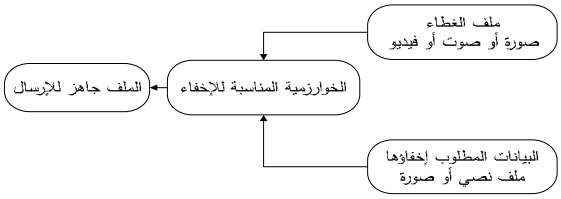
يرتدي المستخدمون لهذه التقنية خوذة أو نظارات مزودة بشاشتين *LCD* ويوجد فوق كل شاشة عدسات مكبرة . تستخدم هذه التقنية لمشاهدة الأفلام والصور والألعاب وتستخدم أيضاً لمحاكاة المناظر والمشاهد. يمكن أن تزود هذه الخوذ بمتتبعات للحركة حيث تحاكي حركة الرأس والالتفات وكأن الإنسان ينظرإلى ماحوله بشكل حقيقي ولكن هذه العملية بحاجة إلى عمليات ضخمة من معالجة الصور وإلى أجهزة معالجة قوية بحيث تحاكي السرعة في تغيّر المشاهد لأن لكل جسم ستة محاور إذا افترضنا أن الطريقة المستخدمة في تمثيل الجسم هي (الاتجاه والموضع).

استُخدِمَتْ هذه التقنية أيضاً في مجال دمج الصور الشعاعية $x-ray$ من أجل مشاهدة العناصر الغائبة في الصور العادية .

واستُخدِمَتْ هذه التقنية في العمليات الجراحية عن بعد عن الطريق المزج بين الصور الشعاعية وصور الرنين المغناطيسي ***MRI*** .

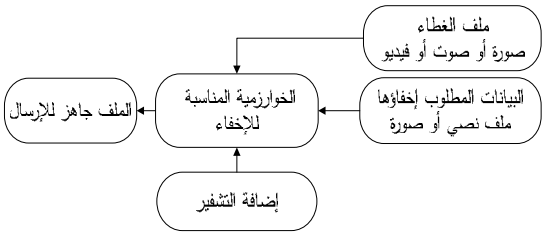
3. مواراة المعلومات في النماذج ثلاثية الأبعاد للصور:

تناولت أغلب الدراسات التي أجريت في مجال المواراة النماذج ثنائية الأبعاد ومن ثمَّ فإن معظم النماذج ثنائية الأبعاد أصبحت عرضة للاختبار والتفتيش والتحليل الذي أدى إلى هدم المفهوم الرئيسي الذي تقوم عليه المواراة، فرأينا أنه من الأجدر الانتقال إلى النماذج ثلاثية الأبعاد وذلك لأنها جديدة التداول وتؤمن الأماكن الملائمة لمواراة الرسائل. سنستخدم في دراستنا الصورة ثلاثية الأبعاد كمثال عن النماذج ثلاثية الأبعاد. وسنتناول المبدأ العام للمواراة والقواعد الأساسية لبناء خوارزميات المواراة وأنماط اختيار المكان المناسب للتضمين داخل الملف الغطاء والتعريف الرياضي لتابع المواراة وحساب جودة الصورة. تتبع أغلب طرائق المواراة المبدأ العام التالي الموضح بالشكل (2):



الشكل (2): مخطط عملية إخفاء ملف التضمين داخل ملف الغطاء.

يمكن أن يزيد التشفير من متانة العملية إذ سيصبح من الصعب تحديد وجود إخفاء في الملف المُرسل، ثم يصبح من المعقّد فك النص المخفي المشفر، فيصبح مخطط عملية المواراة كما في الشكل (3).



الشكل(3): إضافة فن التشفير يزيد من قوة العمل.

يمكن أن يكون ملف الغطاء ملفاً نصياً، وكمثال:

(سيلعب وليد رياضة يراها مهمة، أرادها لعبة لينمي هوايته، حتى الرياضي مثله يطور هوايته الخاصة). بعد قراءة النص لن نجد فيه ما يدل على وجود نص مخفي. نسحب الحرف الأول من كل كلمة ونقرأ ما

سيظهر لنا بعد جمع الأحرف الأولى من هذه الرسالة، نجد الجملة التالية (سورية الله حاميها).

توجد ثلاث نقاط أساسية لبناء أي خوارزمية: الاختيار المناسب للغطاء، وخوارزميات التضمين وفك التضمين، الاختيار المناسب لمفتاح المواراة. على المرسل اختيار الغطاء ليناسب تطبيقه، فمثلاً في حال كان الغطاء عبارة عن صورة فهي سوف تخفي أي تغيرات وخاصة إذا كانت ذات جودة عالية وكان المحتوى قليلاً. تضمين الرسالة يجب أن يكون مستنداً إلى ثلاثة مبادئ مختلفة: أن يكون الغطاء موجوداً مسبقاً ولا يقوم المرسل بتعديله أو أن يولّد الغطاء مستنداً إلى الرسالة المخفية ولا يعدل المرسل عليه، أو أن يكون الغطاء موجوداً مسبقاً ويقوم المرسل بتعديله في أثناء التضمين وهذا النوع هو الذي استخدمناه في هذا المشروع. إن نوع التغيرات ومكانها في الغطاء لها أثر كبير في إبهام الرسالة المضمنة، أي بشكل حدسي نستطيع القول في حال وجود تغييرات كبيرة فإنها تصبح سهلة الكشف أكثر من التغييرات الصغيرة.

2.3. التعريف الرياضي لتابع المواراة:

لنعدَّ أنه يوجد مفتاح للمواراة K_s ينتمي إلى المجموعة K (مجموعة من مفاتيح المواراة السرية) M هي كل الرسائل المُضمنة، وC هي مجموعة من الأغطية. إن تابع الإخفاء عبارة عن تابعين هما تابع التضمين وتابع فك التضمين:

$$Emb: C * K * M \to C$$

كما أن: $Ext: C \to M$

$$\forall c \in C,\ k_s \in K,\quad m \in M \quad \to \quad Ext(Emb(c, k_s, m)) = m$$

وتدعى s رسالة التضمين. $Emb(c, k_s, m) = s$

إن $|M|$ جزء من المجموعة M والتي تعبر عن عدد الرسائل المختلفة التي نستطيع تضمينها في غطاء معين. يدعى المقدار $log_2|M|$ سعة التضمين وتقاس بواحدة البت *bit*. على سبيل المثال لتضمين *LSB* (Least Significant Bit) في صورة ذات تدرج رمادي تكون سعة التضمين تساوي عدد عناصر الصورة *pixels*. إذا كان طول الرسالة المُضمنة m أصغر من سعة التضمين نقول عن الرسالة إن لها طولاً نسبياً مقداره $m||M|$. ويُقاس تأثير التضمين (أو تشويه التضمين) بما يأتي $D(c,s)$ إذْ D المسافة المعرفة على C. عادةً يُستخدم لقياس المسافة مربع متوسط الخطأ، وتوابع الإخفاء التي تعطي تشوّهاً قليلاً في التضمين يكون احتمال كشفها أقل من تلك التي لها تشويه أكبر.

3.3. حساب جودة الصورة:

تستخدم النسبة بين القيمة العظمى للإشارة والضجيج (*PSNR*) *Peak Signal to Noise Ratio* للتعبير الموضوعي عن جودة الصورة المعاد تركيبها، ويتم حسابها وفق العلاقة الواردة لاحقاً. وتعبر هذه النسبة عن جودة الصورة المعاد تركيبها مقارنة بالصورة الأصلية وكلما كانت هذه القيمة أكبر، دل ذلك على تقارب الصورة المعاد تركيبها مع الصورة الأصلية. يجب أن يؤخذ في الحسبان أن هذه النسبة لا تعبر دائماً عن الإدراك البشري الفعلي لجودة الصورة المعاد تركيبها. وتجرى بحوث كثيرة للوصول إلى أساليب أدق وأشمل للتعبير الموضوعي عن جودة الصورة. ولكن مع ذلك تستخدم هذه النسبة على نطاق واسع لسهولة حسابها مدركين أن القيم الكبرى لها لا تعني بالضرورة جودة أفضل للصورة. وتصادف حالات تنخفض فيها هذه النسبة مع أن جودة الصورة تصبح أفضل وفق ما يراه المشاهد، وسنوضح فيما يلي كيفية حساب هذه النسبة. سوف نفترض أن الصورة الأصلية معطاة بالتابع $f(i,j)$ ومقاسها $N \times M$ وفق عدد عناصر الصورة أفقياً وشاقولياً كما أن الصورة المعاد تركيبها معطاة بالتابع $F(i,j)$ ونكتفي بتطبيق الحسابات على مركبة النصوع (أو السطوع) للصورة فقط دون اعتبار ما

لمركبات التلوين. ومن ثمَّ تأخذ قيم عناصر الصورة الأصلية من القيم ابتداء من القيمة صفر لمستوى الأسود حتى القيمة *255* لمستوى الأبيض وهذا يقابل الترميز باستخدام *8* خانات ثنائية. نبدأ بحساب قيمة الخطأ التربيعي الوسطي *MSE*:

$$MSE = \frac{\sum[f(i,j)-F(i,j)]^2}{NM}$$

إذْ تتم عملية الجمع لعناصر الصورة كلها. ومن ثم نحسب الجذر التربيعي:

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

ثم نقوم بحساب القيمة *PSNR*:

$$PSNR = M\,N\,max_{x,y}\,p_{x,y}^2 / \sum_{x,y}(p_{x,y} - \overline{p_{x,y}})^2$$

تتراوح القيم العملية للنِسبة *PSNR* في الصور ثلاثية الأبعاد بين *35* و*90* ديسيبل.

ويتم غالباً أخذ رقمين بعد الفاصلة عند اعتماد قيم هذه النسبة، مثلاً *75.65* وتفيد قيم هذه النسبة في إجراء المقارنة بين عدة صور معاد تركيبها للدلالة على الصورة ذات الجودة الأعلى. تستخدم حالياً توابع شهيرة لقياس التشوه في مجال الصورة والصوت، التشوه ناتج مثلاً عن الضياع خلال الضغط والترميز، من هذه التوابع نسبة الإشارة إلى الضجيج *SNR* والنسبة *PSNR* وتُقاس هذه التوابع بالديسيبل.

$$SNR(dB) = 10\,log_{10}(SNR)$$

من أجل صورة أبعادها *NxM* عناصرها ممثلة باستخدام *8* بت، تعطى علاقة المعيار *PSNR* كما يأتي:

$$PSNR(dB) = 10\,log_{10}\left(\frac{255^2}{\sigma_e^2}\right)$$

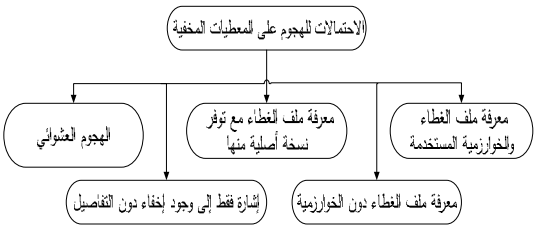
إذْ:

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{N\times M}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}(X(i,j) - Y(i,j))^2$$

4. استرجاع المعلومات في النماذج الثلاثية الأبعاد للصور:

مع التطور الهائل في ابتكار خوارزميات المواراة أصبح لا بد من تطوير طرائق اختراق وتحليل الإخفاء [*5*] [*6*] [*7*] [*8*]. لكل طريقة أو أداة ذكية لتطوير إخفاء المعلومات في المعطيات متعددة الوسائط، عدد مساو من الطرائق والأدوات الذكية التي تتطور لتحديد أسرارِها وكشفها. وتسمى العملية التي تتم فيها محاولة طرف ما اكتشاف وجود المعلومات المخفية، أو قراءتها، أو تغيرها أو حذفها بتحليل المواراة (Stegano − analysis). ولنجاح هذه العملية لابدَّ من أمرين: اكتشاف وجود معلومات مخفية، وتغيير المعلومات المكتشفة، أو حذفها أو مجرد قراءتها. وكل ما نود القيام به في هذا البحث هو محاولة إخفاء المعطيات بطريقة لا تثير الشبهات، أي لا تترك علامات أو أثراً يدل على حدوث تغير ما. فمثلاً في حالة الإخفاء داخل الصور، يجب مراعاة عدة عوامل: منها عدم استخدام صور معروفة، أو نماذج من صور يمكن لأي شخص الحصول على نسخ منها (مثل صور الإنترنت) للإخفاء حيث تسهل المقارنة في حالة وجود صورتين. وكذلك مراعاة ألا يحدث تغير ظاهر في الصور كتشوهها، أو تغير ألوانها بشكل واضح. ولهذا ينصح بعدم إخفاء معطيات كثيرة في الصورة ذاتها خوفاً من تغيير هيئتها، بطريقة تهدم الهدف الأساسي من استخدام التقنية، لأن إثارة الشبهة يعني إخفاق العملية. ومع وجود الحواسيب بمختلف سرعاتها أصبح فن تحليل الإخفاء من الأمور اليسيرة والتي لا تستهلك وقتاً طويلاً في التنبؤ بوجود معطيات مخفية في ملف نصي أو صورة مُرسلة عبر البريد الالكتروني أو الانترنيت بصورة عامّة. فهدف من يُجري المواراة هو عدم إثارة أي نقطة للشك بوجود معطيات مخفية، وإستراتيجية محلل المواراة هو الشك في كل الرسائل المُرسَلة، وهذا لا يعني صعوبة أو استحالة هذه العملية، وكما قلنا: إن وجود الحواسيب المتطورة والفائقة السرعة جعلت من فحص الملفات المُرسَلة أمراً ليس بالعسير. وهنا يكون دور القائم بعملية الإخفاء مهماً جداً في اختياره ملفات الغطاء التي يصعّب معها التمييز فيما إذا كانت قد ضُمِّنت معطيات أم لا. فمن الممكن إرسال صور

شخصية، أو صور احتفالات جماعية، أو ملف صوتي خاص وغير متوافر عند محللي الإخفاء، ومثال بسيط على ذلك، استغلال ملف صوتي لحداد وهو يستخدم آلة كهربائية لصقل الحديد، أو صوت سرب طيور، وغيرها من الأساليب المتوافرة وبسهولة، وضمن البيئة المحيطة لنا. تمتلك عملية تحليل الإخفاء خمسة احتمالات في مهاجمة ملف الغطاء المُرسل، وهي موضّحة في الشكل(4):



الشكل (4): احتمالات اختراق الإخفاء وكسره.

الاختراق المباشر بعد معرفة ملف الغطاء والخوارزمية المستخدمة: هذه الحالة تنفذ عندما تكون المعلومات المسرّبة كافية لتمييز ملف الغطاء المستخدم، والخوارزمية المستخدمة في الإخفاء، وتُعدُّ هذه الطريقة أسهل الطرائق الخمس المتوافرة لدى المهاجم (المحلل).

معرفة ملف الغطاء دون معرفة الخوارزمية المستخدمة: هذه الطريقة ليست عسيرة على محلل المواراة، وكما أشرنا إلى وجود الحاسوب المتطور الذي يمكّن المحلل من تجربة أكثر من خوارزمية متداولة أو طريقة مستخدمة في الإخفاء.

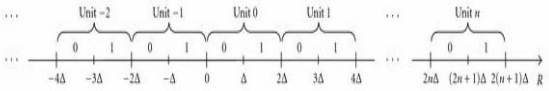
معرفة ملف الغطاء مع توافر نسخة أصلية منه: بمقارنة بسيطة بين عناصر ملف الغطاء الأصلي مع الغطاء المرسل يستطيع محلل المواراة أن يكتشف الخوارزمية المستخدمة، وكسر الإخفاء المستخدم، واستخراج المعطيات السرّية المُرسَلة.

ملف الغطاء والخوارزمية كلاهما غير معروف: ما يملكه المحلل هو فقط إشارة إلى وجود إخفاء في أحد الملفات المُرسَلة، دون تحديد الملف المقصود ولا الخوارزمية المستخدمة، هنا يكون الهجوم على كل الملفات المُرسَلة وتخمين (أو تجربة) كل الخوارزميات المتوافرة لدى المحلل، هذه الطريقة قد تستهلك وقتاً، لكنها في النهاية قد تصل إلى النتيجة المطلوبة.

الاختراق العشوائي: حيث لا يمتلك المحلل أي معلومات عن وجود معطيات مُرسلة، أو وجود ملف غطاء، وهذا ما يحصل كثيراً في شبكات الانترنت، دون علمنا أو انتباهنا، إذْ إن الملفات التي تُرسل عبر الانترنيت أو البريد الالكتروني يخضع معظمها (إن لم يكن جميعها) إلى الفحص والتحليل، ولا غرابةَ في ذلك.

5. خوارزمية المواراة بطريقة الإزاحة:

تختلف طريقة الإزاحة أو تقابل بنية معطيات المستطيلات المتقاطعة المتجاورة *ABM* (Adjacent Bin Mapping) عن غيرها من عمليات المواراة بأنها لا تجري أي تعديل في قيم الصورة وبدلاً من ذلك تقوم بتعديل أماكن القيم ضمن الصورة وذلك وفقاً لسلسلة أو لرسالة ثنائية معينة [*1*] [*2*] [*3*] [*4*]. لنأخذ شعاعاً ذا بعد واحد كما هو موضح الشكل (5) ومن ثم نقوم بتعميم هذه المسألة على الصور ثلاثية الأبعاد.

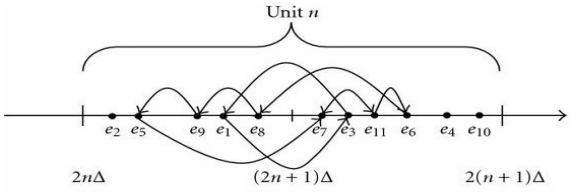


الشكل (5) تقسيم الشعاع ذو البعد الواحد إلى وحدات.

نفترض أنه لدينا $C = (e_1, e_2, \ldots, e_N)$ إذْ e_i عبارة عن القيم ذات الدليل (أو الموقع) i و $i=\{1,2,\ldots\ldots,N\}$ و R نستخدمها لنعطي مجال التوزيعات للعناصر من $(e_1, e_2, \ldots, e_N)$ وبتقسيم R إلى مجموعة من الوحدات غير المتراكبة والتي تملك الحجم نفسه. و نقوم ضمن كل وحدة بالتقسيم إلى قسمين يميني ويساري. ونقوم ضمن هذه الوحدة بتخصيص القسم اليساري للخانات الثنائية التي تقابل

القيمة *0* ضمن الرسالة المراد مواراتها ونقوم بتخصيص القسم اليميني للخانات التي تقابل القيمة *1*.

عملية تضمين المعلومات: تتم قراءة الرسالة المراد تضمينها من (نص أو صورة) وتحويلها إلى قيم ثنائية باستخدام برنامج الماتلاب ولاحقاً يتم تضمينها في الصور ثلاثية الأبعاد. فعند ورود *0* ننظر إلى القيمة الموافقة في وحدة المواراة فإذا كانت هذه القيمة موجودة ضمن القسم اليساري نتركها كما هي أمّا إذا كانت هذه القيمة موجودة ضمن القسم اليميني فنقوم بإزاحتها إلى القسم اليساري، وهكذا كما يبيّن الشكل (6). يجب ألّا يزيد عدد العناصر المضمنة (الخانات) في وحدة المواراة على عدد عناصر وحدة المواراة ذاتها.

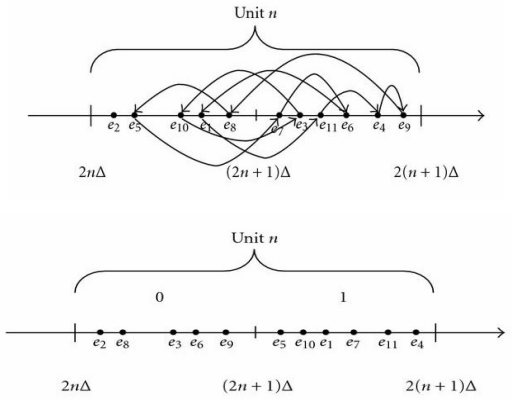


الشكل (6) آلية التضمين.

وكمثال وبفرض لدينا مجموعة من العناصرضمن وحدة المواراة $Unit_N$

$$(e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9, e_{10}, e_{11})$$

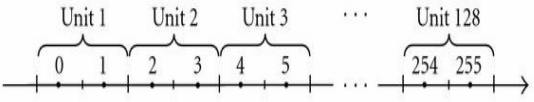
سنقوم بتضمين مجموعة من القيم فيها ولتكن [*10011010010*]. نلاحظ حسب الشكل أن e_1 موجود في القسم اليساري المخصص للأصفار ولكن لمّا كانت قيمة الخانة الثنائية المقابلة في الرسالة هي *1* فإنه يجب نقله إلى القسم اليميني. وe_2 موجود في القسم اليساري المخصص للأصفار ولكن لمّا كانت قيمة الخانة الثنائية المقابلة في الرسالة هي *0* فإنه يجب إبقاؤه في مكانه. و e_3 موجود في القسم اليميني المخصص للأصفار ولكن لمّا كانت قيمة الخانة الثنائية المقابلة في الرسالة هي *0* فإنه يجب نقله إلى القسم اليساري، وهكذا. وتستمر هذه العمليات إلى أن يكتمل أحد الأجزاء وفي مثالنا هذا نجد أنه بعد إجراء خمسة تغييرات في $(e_2, e_3, e_6, e_8, e_9)$ اكتمل معنا الجزء اليساري فنتوقف ونكون بذلك تمكنا من تضمين البتات التسعة [*100110100*]. ولتقليل التشتت في الكائن الغطاء بالمعيار الحدي (Mean Square Error)*MSE* يجب أن تكون القيمة موزعة في وحدة المواراة بحيث تطابق الرسالة المراد تضمينها ومن ثمَّ كي نتمكن من تحقيق سعة عالية يجب أن تحقق الرسالة مواصفات إحصائية معينة وذلك يمكن أن يقلل التشوه الحاصل عن تبديل أماكن بعض عناصر الصورة وذلك من خلال تقليل التغيرات المحدثة في الصورة. كما يوضح الشكل (7) .



الشكل (7) آلية تبديل أماكن العناصر.

عملية استرجاع المعلومات: يمكن فك تضمين خوارزمية المواراة بطريقة الإزاحة عن طريق القيام بفصل كل وحدة تضمين عن الأخرى ثم ننظر في مكونات هذه المواراة فإذا كانت القيم ضمن الوحدة في الحيز اليساري تأخذ القيمة *0* وإذا كانت في الحيز اليميني تأخذ القيمة *1*. يمكن إجراء عملية المواراة وفك المواراة بشكل متوازٍ كون كل وحدة تضمين مستقلة عن الأخرى أي يمكننا القيام بعملية المواراة في الوحدة *N* وبشكل متوازٍ نقوم بعملية فك المواراة في الوحدة $N-1$ ومن ثمَّ يكون العمل وفق اختيار فهرسة عشوائية لعملية المواراة بمعنى أنه يمكن أن توضع الخمس خانات الثنائية الأولى من الرسالة في وحدة والخمس خانات الثنائية التالية من الرسالة في وحدة أخرى مختارة بطريقة عشوائية. تمكننا هذه

الطريقة من القيام باختيار مفتاح بسلسلة عشوائية بحيث تقوم هذه السلسلة باختيار الوحدة التي سنضمّن فيها وبذلك تصبح عملية المواراة باستخدام مفتاح سري. ومن أجل إخفاء كمية واحدة من المعطيات ضمن الوحدة نقوم بزيادة عدد الأصفار والواحدات المضمنة باختيار $\theta \in [0,1]$ إذْ θ ستقوم بعملية ضبط كمية الخانات الثنائية المضمنة ومن ثم نستخدمها في عملية فك المواراة ولنفترض أنَّ لدينا عنصرين L وM موجودين في بنيتي معطيات المستطيلات المتقاطعة Bin ولنفترض دوماً أن $L>M$ فيكون الحد الأدنى من الخانات الثنائية التي يمكن تضمينها في وحدة هو M والحد الأعلى هو $(L+M)-1$ ومع وجود المحددة θ يصبح لدينا الحد الأدنى $[M \times \theta]$ والحد الأعلى هو $[((L+M)-1) \times \theta]$ إذْ يمثل$[X]$تابع السقف *function ceil* أي أكبر عدد صحيح أصغر من x. وبذلك فإن عملية المواراة يمكن أن تُضبط بواسطة المحددة θ والتي سيتشارك فيها كل من المرسل والمستقبل.



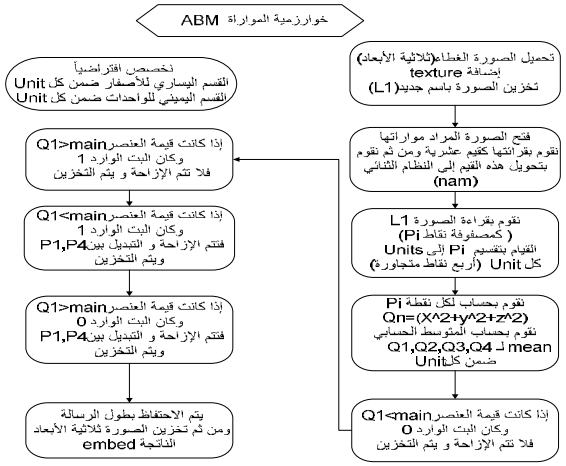
الشكل (8) الناتج النهائي لعمل الخوارزمية.

إن طريقة الإزاحة تستخدم طريقة الهندسة ثلاثية الأبعاد ذات الإحداثيات فعلى فرض وجود N شعاع موضوعة في شكل هندسي ثلاثي البعد ممثل من خلال $P = \{P1, \ldots, PN\}$ إذْ يحدد الشعاع P_i الإحداثيات$\{P_{ix}, P_{iy}, P_{iz}\}$ في R^3 من أجل $i = 1,2, \ldots, N$. يمكن تطبيق طريقة الإزاحة على مجموعات ثلاثية الإحداثيات هي

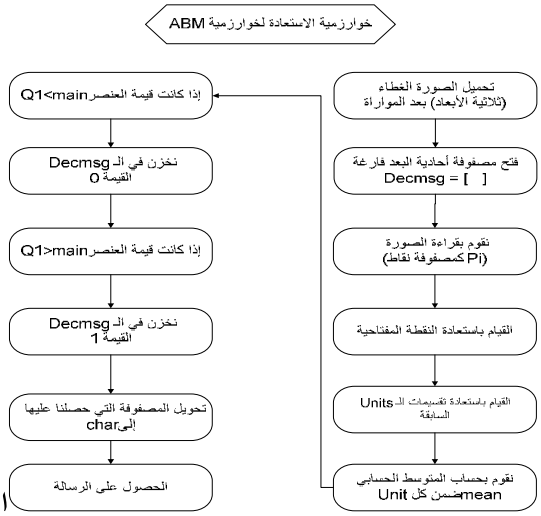
$\{P_{1x}, P_{2x}, \ldots, P_{Nx}\}, \{P_{1y}, P_{2y}, \ldots, P_{Ny}\},$

$\{P_{1z}, P_{2z}, \ldots, P_{Nz}\}$

على محاور(X,Y,Z) ولهذه الأشعة الثلاثة الطول نفسه ومن ثمَّ يمكن أن نقسم كلاً منها إلى أقسام متساوية Δ. نحسب أولاً منحنى التوزع الإحصائي على كل محور (مثال: عدد أرقام الإحداثيات في كل بنية معطيات المستطيلات المتقاطعة Bin). من أجل عنصر الغطاء الممثل بعدد ذي فاصلة عائمة فإن حساب التوزع الإحصائي يكون عرضةً للقيمة الصغرى ضمنه. مثلاً بالإشارة إلى أصغر قيمة عبر المحور X على أنها p_{xm} نقوم بحساب القيمة $P_{xb} = \left\lfloor \frac{p_{xm}}{\Delta} \right\rfloor \times \Delta$. لكل قيمة P_{ix} في الشكل الهندسي ثلاثي الأبعاد نعرف أنها متوضعة في بنية معطيات تقاطع المستطيلات ذات الترتيب $\left(\left\lfloor \frac{p_{ix}-p_{xb}}{\Delta} \right\rfloor + 1\right)$ من نقطة البدء p_{xb}. ما دامت عملية التضمين لا تولد قيماً جديدة يمكن أيضاً الحصول على قيمة p_{xb} من الإحداثي الأصغر في هندسة المواراة ذات المقدار Δ. بذلك يكون منحنى التوزع الإحصائي الصورة المضمنة يطابق منحنى التوزع الإحصائي الصورة قبل التضمين. يبيّن الشكل (9) المخطط الخوارزمي لعملية التضمين باستخدام طريقة الإزاحة. ويبيّن الشكل (10) المخطط الخوارزمي لعملية الاسترجاع باستخدام طريقة الإزاحة.



الشكل (9) المخطط الخوارزمي لعملية التضمين باستخدام طريقة الإزاحة.

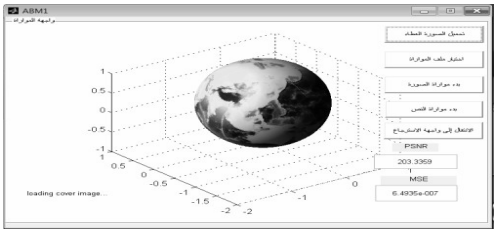


لشكل (10) المخطط الخوارزمي لعملية الاسترجاع باستخدام طريقة الإزاحة.

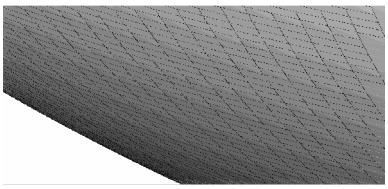
6. التجارب العملية وتحليل النتائج

استخدمنا برنامج الماتلاب لكتابة البرمجيات المطلوبة وفي أثناء التنفيذ العملي استخدمنا الصورة ثلاثية الأبعاد للكرة الأرضية كملف غطاء واستخدمنا ملفات صور ثنائية البعد وملفات نصية كملفات مراد مواراتها، وبعد تطبيق خوارزمية الإزاحة على هذه المعطيات حصلنا على النتائج الآتية.

يعرض الشكل (11) كائن الغطاء وهو صورة كرة أرضية ثلاثية الأبعاد أي عبارة عن مجموعة من القمم مضافاً إليها بنية الطلي *texture* المناسبة عدد القمم المختارة هو *1000000* نقطة. ويبيّن الشكل (12) البنية الشبكية للصورة ثلاثية الأبعاد قبل المواراة. كما قمنا بتخزين ملف صورة حجمه *4,08 KB* والمبين في الشكل (13). ويبيّن الشكل (14) البنية الشبكية للصورة ثلاثية الأبعاد بعد تطبيق الخوارزمية. وبعد الاسترجاع حصلنا على الشكل (15) المطابق للأصل بشكل كبير.

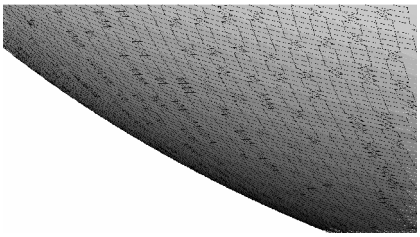


الشكل (11) كائن الغطاء وهو عبارة عن صورة كرة أرضية ثلاثية الأبعاد



الشكل (12) البنية الشبكية للصورة ثلاثية الأبعاد قبل تطبيق خوارزميات المواراة.

الشكل (13): ملف الصورة المراد مواراتها.



الشكل (14): البنية الشبكية للصورة ثلاثية الأبعاد بعد تطبيق الخوارزمية.

الشكل (15): ملف الصورة المسترجعة.

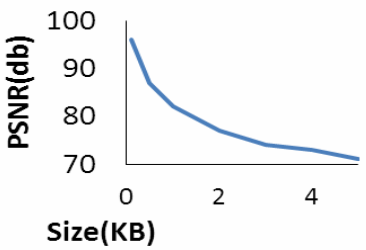
بحساب نسبة الإشارة إلى الضجيج مأخوذة بالديسيبل $(PSNR = 67{,}7786\ db)$ وهي قيمة جيدة مقارنة بالقيم الموجودة في المراجع العلمية إِذْ تتراوح هذه القيم بين (*35db*) و (*100db*).

الآن نبيّن علاقة حجم الملف المضمن بالمعيار *PSNR* بعد تطبيق خوارزمية *ABM*، النتائج التجريبية أعطت القيم حسب الجدول (1).

الجدول (1): علاقة حجم الملف المضمن بالمعيار *PSNR*

Size(KB)	0.1	0.5	1	2	3	4	5
PSNR(db)	96	87	82	77	74	73	71

يبيّن الشكل (17) علاقة حجم الملف المضمن بالمعيار *PSNR* بعد تطبيق خوارزمية *ABM* بيانياً.



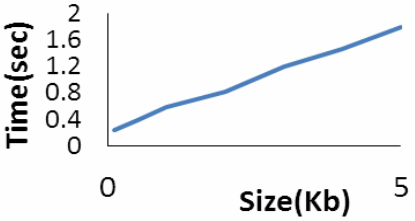
الشكل (17): علاقة حجم الملف المضمن بالمعيار *PSNR*.

نلاحظ من خلال المخطط البياني أنه كلما زاد حجم الصورة نقصت نسبة الإشارة إلى الضجيج. والآن نبيّن علاقة حجم الملف المضمن بزمن التضمين بعد تطبيق خوارزمية *ABM*، النتائج التجريبية أعطت القيم حسب الجدول (2).

الجدول(2): علاقة حجم الملف المضمن بزمن التضمين.

Size(Kb)	0.1	0.5	1	2	3	4	5
Time(sec)	**0.23**	0.39	0.58	0.81	1.2	1.46	1.79

يبيّن الشكل (18) علاقة حجم الملف المضمن بزمن التضمين بعد تطبيق خوارزمية *ABM* بيانياً. ونلاحظ أنه كلما زاد حجم الملف زاد زمن التضمين.



الشكل (18): علاقة حجم الملف المضمن بزمن التضمين.

7 - الدراسات المستقبلية:

- أُجْرِيَتِ الدراسة على الصور ثلاثية الأبعاد فقط فاقترح القيام بتجربة تنفيذ المواراة في النماذج المختلفة الثلاثية الأبعاد من صوت وفيديو.
- إن مجال البحث في الصور الثلاثية الأبعاد كبير جداً وبقي الكثير من مكونات النماذج ثلاثية الأبعاد التي يمكن استثمارها في عملية المواراة، فميزة التعامل مع نماذج ثلاثية الأبعاد تكمن في إمكانية إظهار المناطق المحجوبة في الصور ثنائية البعد ومن ثمَّ إمكانية إجراء عملية المواراة ضمن هذه المناطق.
- وخلال بحثنا قمنا بتضمين بت واحد في كل عملية تضمين وفك التضمين ويمكن المتابعة في هذا الموضوع للقيام بالدراسة المناسبة لتضمين أكثر من بت في كل عملية تضمين وفك التضمين.

8 -الخاتمة:

البحوث التي تتعلق بالنماذج ثلاثية الأبعاد جديدة التداول نسبياً وبعد أن قمنا بهذا البحث توصلنا إلى طريقة للقيام بعملية المواراة وعملية استرجاع المعلومات وبدت النتائج أكثر من جيدة.

- سنورد مقتطفات من الكود البرمجي في الملحق 1

الملحق (1)

مقتطفات من برمجة خوارزمية المواراة باستخدام الإزاحة :

```
index = 1;
[M N] = size(z1)
for k = 1:floor(M/2),
for j = 1:floor(N/2),
   vec1 = reshape(temp(:,:,1),2*2,1);
   vec2 = reshape(temp(:,:,2),2*2,1);
   vec3 = reshape(temp(:,:,3),2*2,1);
   vec4 = vec1 + vec2 + vec3;
val = mean(vec4);
mylogical = (vec4 <= val);
if index <= length(vebmsg),
if  vebmsg(index) ~ = mylogical(1);
end
end
end
plce(2*(k-1)+1:2*(k-1)+2,2*(j-1)+1:2*(j-1)+2,1)
        = reshape(vec1,2,2);
plce(2*(k-1)+1:2*(k-1)+2,2*(j-1)+1:2*(j-1)+2,2) = reshape(vec2,2,2);
plce(2*(k-1)+1:2*(k-1)+2,2*(j-1)+1:2*(j-1)+2,3) = reshape(vec3,2,2);
index = index + 1;
end
end
```

مقتطفات من برمجة خوارزمية الاستعادة باستخدام الإزاحة:

```
msg = [];
for j = 1:size(x,2)
for i = 1:size(x,1)/2 - 1
if index >= 1
msg = [msg 1];
end;
msg = [msg 0];
end;
index = index - 1;
else
break;
end;
end;
end;
```

المراجع

[1] Haotian Wu, Jean-Luc Dugelay "Steganography in 3D Geometries and Images by Adjacent Bin Mapping " Volume 27 (2009), Jan.

[2] Alexander Bogomjakov Craig Gotsman Martin Isenburg" Distortion-Free Steganography for Polygonal Meshes " Volume 27 (2008), Number 2

[3] WANG C-.M., CHENG Y-.M" :.An efficient information hiding algorithm for polygon models ."ComputerGraphics Forum 24, 3 (2005), 591–600.

[4] H .T .Wu, J-.L .Dugelay, and Y .M . Cheung, "A Data Mapping Method for Steganography and Its Application to Images," Proceedings of the 10th International Workshop on Information Hiding, Santa Barbara,USA, May, 2008.

[5]. Westfeld, "High capacity despite better steganalysis) F5 – a steganographic algorithm(," LNCS :Proceedings of the 4th International Workshop on Information Hiding, vol .2137, pp . 289-302, April 2001.

[6] A .C .Popescu and H .Farid, "Statistical Tools for Digital Forensics," Proc .of Intl .Workshop on Info .Hiding, Toronto, Canada, & Lect .Notes in Comp .Sc., vol .3200, pp .128–147, May 2004.

[7] J .Fridrich, M .Goljan, and D .Hogea, "Steganalysis of JPEG Images :Breaking the F5 Algorithm," Proc .of Intl . Workshop on Info .Hiding, 2002.

[8] S .Lyu and H .Farid, "Steganalysis using high-order image statistics," IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol .1, no.1, pp .111-119, March 2006.

[9] H .Date, S .Kanai, and T .Kishinami, "Digital Watermarking for 3D Polygons Model Using Multiresolutional Wavelet Decomposition," Proc .Sixth IFIP WG 5.2 Int'l Workshop Geometric Modeling:Fundamentals and Applications)GEO-6 '98(, pp .296-307, Dec .1998.

[10] S .Zafeiriou, T .Anastasios, and I .Pitas, "Blind Robust Watermarking Schemes for Copyright Protection of 3D Mesh Objects," IEEE Trans .Visualization and Computer Graphics, vol .11, no .5,pp . 596-607, Sept/.Oct .2005.

[11] R .Ohbuchi, A .Mukaiyama, and S . Takahashi, "A Frequency -Domain Approach to Watermarking 3D Shapes," Computer Graphics Forum, vol .21, no . 3, pp .373-382, 2002.

[12] F .Cayre, O .Devillers, F .Schmitt, and H .Maıˆtre, "Watermarking 3D Triangle Meshes for Authentication and Integrity," INRIA Research Report RR-5223, June 2004.

[13] Ryutarou Ohbuchi, Hiroshi Masuda, Masaki Aono "Embedding Data in 3D Models"IBM Japan Tokyo Research Laboratory.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2010/5/27.