

Study and Analysis the Effect of Changing the Disparity Compensation Algorithm and the Minimum Size of Range Block in Quadtree on Fractal Compression of Stereo Images

Dr. Mariam Saii*
Dr. AL Samaoual Saleh **
Heba Hatem***

(Received 4 / 7 / 2017. Accepted 14 / 9 / 2017)

□ ABSTRACT □

Stereoscopic imaging is considered to be one of the most important techniques in computer vision that aims to recreate the depth. Stereo images are one of the most famous types of 3D images.

Considering the importance of stereo image compression and the advantages of the fractal image compression, this research studied the effect of changing the minimum size of the range block in quadtree on the time of the fractal compression. Where, the long-time consumed on the self-similarity search between range and domain blocks, is considered to be one of the biggest problems in fractal image compression method. This research also studied the effect of changing the disparity estimation method, between the right and the left view in stereo image, on the quality of the compression

The disparity maps were obtained using four compensation methods which are exhaustive block matching , sub pixel estimation , dynamic programming and image pyramiding and were compressed using the same method used to compress the reference image.

The results were evaluated using quality and efficiency objective measures and compared with the state of art stereo image compression techniques which are JPEG based on Discrete Cosine Transform DCT and JPEG2000 based on Discrete Wavelet Transform DWT and SPIHT.

Key words: Stereo images, Fractal image compression, Disparity estimation.

* Assistant Professor –Computers and Automatic Control Department ,faculty of Mechanical and Electronic Engineering , Tishreen University – Lattakia- Syria

** Professor –Telecommunication and electronics Department ,faculty of Mechanical and Electronic Engineering , Tishreen University – Lattakia- Syria

*** PhD student - Telecommunication and electronics Department ,faculty of Mechanical and Electronic Engineering , Tishreen University – Lattakia- Syria

دراسة وتحليل تأثير تغيير خوارزمية تعويض التفاوت والحجم الأصغري لكتلة المدى في شجرة الأرباع على أداء الضغط التجزيئي للصور المجسمة

د. مريم ساعي*

د. السموع صالحي**

هبة حاتم***

(تاريخ الإيداع 4 / 7 / 2017. قُبِلَ للنشر في 14 / 9 / 2017)

□ ملخص □

يشكل التصوير المجسم أحد أهم تقنيات الرؤية الحاسوبية المستخدمة لإعادة خلق انطباع العمق. وتشكل الصور المجسمة أحد أشهر أنواع الصور ثلاثية البعد التي تتألف من صورتين اليمنى ويسرى مأخوذتين لنفس المشهد. ونظراً لأهمية ضغط الصور المجسمة من ناحية وللميزات الهامة التي يتمتع بها الضغط التجزيئي من ناحية أخرى. تم في هذا البحث دراسة تأثير تغيير الحجم الأصغري لكتلة المدى في شجرة الأرباع على زمن الضغط التجزيئي، حيث يعتبر الزمن الكبير لخطوة البحث عن التشابه بين كتل المدى وكتل المجال أحد أكبر المشكلات التي تعاني منها خوارزمية الضغط التجزيئي. كما تمت دراسة تأثير تغيير خوارزمية تخمين التفاوت بين صورتين المشهد الأيمن والأيسر على جودة الضغط التجزيئي، حيث تم تحصيل خريطة التفاوت بأربع طرق هي طريقة مطابقة الكتل الشاملة وطريقة التخمين اعتماداً على دقة البيكسل الفرعي وطريقة البرمجة الديناميكية وطريقة هرمية الصور.

قيمت النتائج بناءً على معايير التقييم الموضوعي لجودة وكفاءة الضغط وتمت مقارنتها مع خوارزميات ضغط الصور المجسمة المعتمدة وهي JPEG المعتمد على تحويل التجب المتقطع DCT و JPEG2000 المعتمد على تحويل الموجة المتقطع DWT و SPIHT.

الكلمات المفتاحية: الصور المجسمة، الضغط التجزيئي، تخمين التفاوت

* أستاذ مساعد - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية
** أستاذ - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية
*** طالبة دكتوراه - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي - اختصاص الاتصالات المعلوماتية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

مقدمة:

إن عملية تخزين الصور المجسمة وإرسالها تواجه مجموعة كبيرة من التحديات بسبب كون الصور المجسمة تتألف من زوج من الصور المستوية الأمر الذي يجعلها تتطلب ضعف عرض الحزمة المطلوب وضعف مساحة التخزين اللازمة لإرسال الصورة المستوية. وخلال عملية تبادل بيانات الصور المجسمة نرغب بالحفاظ على جودة بمستوى عالي وزمن نقل صغير ومساحة تخزين على القرص الصلب أقل ما يمكن. ومن أجل تلبية الاحتياجات المتزايدة والمتطلبات المتعلقة بتقليل كلفة وزمن الإرسال وزيادة سعة التخزين، تم طرح الأبحاث المتعلقة بتقنيات ضغط الصور المجسمة وخوارزمياتها.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير تغيير الحجم الأصغري المسموح به لكنتل المدى في شجرة الأرباع على الزمن المستهلك في خطوة البحث عن التشابه الذاتي بين كتل المدى وكتل المجال، كما يهدف إلى دراسة تأثير جودة الضغط التجزيئي بخوارزمية تخمين التفاوت المعتمدة. حيث تم في هذا البحث تطبيق الضغط التجزيئي على الصور المجسمة بعد استخدام أربع خوارزميات مختلفة لتحصيل خريطة التفاوت . تأتي أهمية البحث من ناحيتين الأولى هي أن ضغط الصور المجسمة يلعب دورا هاما وأساسيا في تخزين وإرسال هذه الصور التي تحتوي على كمية كبيرة جدا من المعلومات المرئية، والثانية هي أن الضغط التجزيئي لم يطبق بعد في مجال ضغط الصور المجسمة على الرغم من مميزاتة المختلفة وخصائصه التي ثبت تفوقها في الصور المستوية.

طرائق البحث ومواده:

1- الصور المجسمة Stereo images :

1-1- صور المشهدين الأيمن والأيسر Left and Right view images:

تفصل بين العينين البشريتين مسافة تتراوح بين 50-75mm بحسب شكل كل فرد، مما يجعل لكل عين رؤية مختلفة بشكل طفيف للمشاهد نفسه، تسمى هذه الظاهرة الفيزيائية بالرؤية ثنائية العينية وهي التي تعطينا وبشكل طبيعي الإدراك ثلاثي البعد لمشاهد العالم المحيط . تتم محاكاة هذه الظاهرة في مجال الرؤية الحاسوبية من خلال تقديم صورتين مختلفتين بشكل طفيف إلى كل عين باستخدام تقنية تسمى التصوير المجسم [1].

عند تصوير صورة ثلاثية البعد باستخدام تقنية التصوير المجسم يتم استخدام كاميرتين لالتقاط صورتين منفصلتين لنفس المشهد من زاويتين مختلفتين ومن نقطة مشاهدة واحدة ثابتة، وعندما تعرض هذه الصورة على شاشة ذات مستوي تجسيمي (plano-stereoscopic display) ، فإن العين اليسرى لا ترى إلا الصورة اليسرى واليمين لا ترى سوى الصورة اليمنى ، ويقوم الدماغ بجمع الصورتين حتى يعطي إدراك العمق، ويتم حاليا إدراك العمق في الصور المجسمة باستخدام شاشات تجسيمية أوتوماتيكية [2]. إن الفرق الأساسي بين الصور المستوية والصور المجسمة أن الأخيرة تحتوي ضمنا على معلومات العمق على شكل تفاوت أو انزياح بين الصورتين اليمنى واليسرى [2].

يتألف زوج الصورة المجسمة من صورتين لنفس المشهد مأخوذتين من نقطتين تفصل بينهما مسافة أفقية صغيرة. يبين الشكل (1) أن العناصر الأقرب للكاميرا تبدو أقرب لليمين في الصورة اليسرى وأقرب لليسار في الصورة اليمنى. في حين تبدو العناصر البعيدة وكأنها في نفس المكان في الصورتين [3]



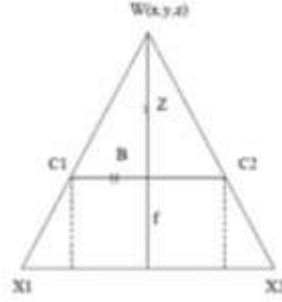
الشكل (1) مبدأ الصور المجسمة ،التقاط صورتين لنفس المشهد بواسطة كاميرتين تفصل بينهما مسافة أفقية صغيرة

2-1- المطابقة المجسمة وخريطة التفاوت Stereo Correspondence and

:Disparity map

تهدف المطابقة المجسمة إلى إيجاد البيكسلات المتطابقة بين صورتين المشهد اليمنى واليسرى وتحفظ النتائج في خريطة تفاوت. يشير مصطلح التفاوت إلى الإزاحة الأفقية بين مشهدين بيكسلين متطابقين. أما مصطلح خريطة التفاوت فهو يشير إلى قيم هذه الإزاحات الأفقية من أجل كافة إحداثيات البيكسلات في الصورة. ويعبر عنه بالتابع [2]. $d(x,y)$

بعد أن تتم عملية إيجاد البيكسلات المتطابقة ، تؤخذ هذه التفاوتات ثنائية البعد وتحول إلى أعماق ثلاثية البعد بهدف توقع النموذج ثلاثي البعد للمشهد.



الشكل (2) تمثيل رياضي لمبدأ التفاوت

لتكن النقطة $W(x,y,z)$ هي نقطة من مشهد واقعي. ولدينا كاميرتين $C1$, $C2$. تشكل المسافة الفاصلة بين هاتين الكاميرتين مسافة تسمى بالخط الأساسي B ،

$X1, X2$ هما إحداثيي الصورتين المشكلتين من قبل الكاميرتين $C1, C2$ على الترتيب ويسمى الفرق بينهما بالتفاوت.

f البعد المحرق وهو عبارة عن المسافة بين مستوي الصورة و مركز الخط الأساسي

Z العمق. نلاحظ من تشابه المثلثين $WC1C2$ و $wX1X2$ نلاحظ

$$(z + f) / z = (x1 + x2 + B) / B \quad (1)$$

وبما أن $X1$, $X2$, B , f كلها معروفة لذلك يحدد العمق في المعادلة التالية

$$z = fB/(x1 + x2) \quad (2)$$

حيث $x1 + x2 = d$ وهي تعبر عن التفاوت وإن مقدار واتجاه التفاوت لعنصر ما في مشهد هو مقياس لحجمه النسبي.

من أجل إيجاد البيكسلات المتطابقة في الصورتين اليمنى واليسرى نحتاج إلى معيار تشابه أو تابع كلفة والذي يزداد كلما قل التشابه بين البيكسلين الذين تتم مقارنتهما. رياضياً يعبر عن كلفة المطابقة بالتابع $C(x, y, d)$ وذلك بالنسبة إلى الصورة المرجعية والتفاوت. وهو يعيد قيمة عدم التشابه من أجل الإحداثي (x, y, d) في فضاء التفاوت. يحدد فضاء التفاوت بإحداثيات بيكسلات الصورة ومجال البحث عن التفاوت، ويعتمد تحديد مجال البحث عن التفاوت على خصائص الصور المجسمة في الدخل [3].

في هذا البحث تم اعتماد تابع الكلفة SAD (Sum of Absolute Differences) مجموع الاختلافات المطلقة وذلك من أجل كافة خوارزميات تعويض التفاوت المستخدمة في البحث. وفيما يلي نورد لمحة نظرية عن هذه الخوارزميات

1-2-1- خوارزمية مطابقة الكتل الشاملة Exhaustive Block matching

:algorithm

تعتبر هذه الخوارزمية من أسهل وأشهر خوارزميات المطابقة وفيها ومن أجل كل كتلة في الصورة المرجعية (تم اختيار الصورة اليسرى في هذا البحث) تسعى هذه الخوارزمية إلى إيجاد الكتلة المطابقة في الصورة الهدف (اليمنى)، حيث يكون تابع الكلفة بين هاتين الكتلتين أصغري. وتكون الإزاحة بين الكتلة في الصورة اليسرى والكتلة المطابقة في الصورة اليمنى هي شعاع التفاوت d [4]. في هذا البحث تم اختيار حجم الكتلة 7×7 pixel،

1-2-2- خوارزمية التخمين على أساس دقة البيكسل الفرعي sub pixel estimation algorithm

بما أن خريطة التفاوت المحصلة بواسطة خوارزمية مطابقة الكتل تكون كلها ذات قيم صحيحة. بالتالي فإن خريطة العمق الموافقة ترث ما يسمى بتأثير المنحنيات contouring effect حيث لا توجد انتقالات ناعمة بين المناطق المختلفة في التفاوت. ويمكن أن تحل هذه المشكلة من خلال إشراك حساب البيكسل الفرعي إلى مصفوفة المطابقة. حيث وفي الخوارزمية السابقة لم نأخذ بعين الاعتبار سوى موقع الكلفة الدنيا كتفاوت. لكن في هذه الخوارزمية سنأخذ بعين الاعتبار الكلفة الدنيا وقيمتي الكلفة المجاورتين. يشير مصطلح تخمين البيكسل الفرعي إلى عملية تخمين قيمة معينة كالتفاوت بشكل أفضل وأكثر كفاءة من الحالة التي يتم فيها التخمين على أساس البيكسل [5].

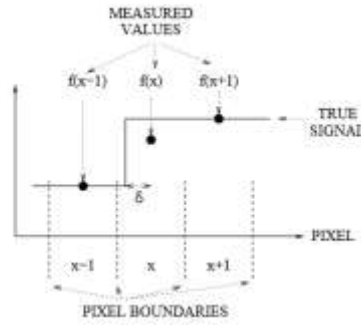
يبين الشكل (3) أن $f(x)$ هو تابع لموقع الحافة الحقيقية ضمن البيكسل وتابع أيضاً لقيم البيكسلات المجاورة ونفترض هنا أن موقع البيكسل يشير إلى مركز البيكسل، فلنكن δ هي الإزاحة عن الموقع الحقيقي للحافة بعيداً عن مركز البيكسل وبالتالي يمكننا نمذجة $f(x)$ في الموقع x . بالنسبة لقيم البيكسلات المجاورة [6]

وبافتراض أخذ تابع الخطوة المعبر عنه في المعادلة (3):

$$f(x) = (1/2 + \delta)f(x - 1) + (1/2 - \delta)f(x + 1) \quad (3)$$

وبالتالي يمكننا حساب موقع الحافة الفرعي من خلال المعادلة (4)

$$\delta = (2f(x) - f(x - 1) - f(x + 1)) / (2(f(x - 1) - f(x + 1))) \quad (4)$$

الشكل (3) قيمة $f(x)$ المحصلة من خلال تكامل الإشارة المستمرة عبر كل البيكسل

1-2-3- البرمجة الديناميكية Dynamic Programming :

يوضح الشكل (4) صورتين لنفس المشهد مأخوذتين من نقطتي مشاهدة مختلفتين، حيث يظهر الشكل أحد المشاكل الموجودة في المطابقة المجسمة ألا وهي مشكلة التغطية (occlusion). حيث مثلاً يظهر في المشهد الأيسر عمود باللون الأبيض على الحائط، مغطى جزئياً من قبل الصندوق في صورة المشهد الأيمن. في هذه الحالة نلاحظ أنه لا يمكن إيجاد المطابقة الصحيحة [7].

تسعى خوارزمية البرمجة الديناميكية إلى حل هذه المشكلة كالتالي :

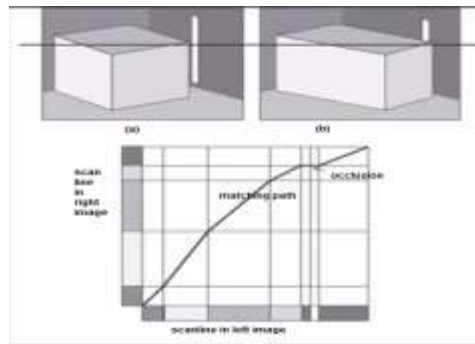
يوضح المخطط البياني المبين في القسم السفلي من الشكل (4) خط المسح لصورتَي المشهدين الأيمن والأيسر المبين في القسم الأعلى من الشكل. حيث تظهر الألوان المختلفة للأسطح الظاهرة في صورة المشهد الأيسر على المحور الأفقي، وتظهر هذه الألوان نفسها لصورة المشهد الأيمن على المحور الشاقولي من المخطط البياني المذكور. هنا نريد مطابقة خط المسح الأفقي كاملاً مع خط المسح الشاقولي، تمثل البرمجة الديناميكية المطابقة بواسطة مسار يمر من الزاوية السفلى اليسرى من المخطط البياني إلى الزاوية العليا اليمنى من المخطط. وحين تفشل الخوارزمية في إيجاد التطابقات عند حدوث ظاهرة التغطية يصبح المسار إما شاقولياً أو أفقياً كما هو مبين في المخطط البياني عند مرور خط المسح من العمود الأبيض المغطى في صورة المشهد الأيمن.

تسعى هذه الخوارزمية إلى اختيار المسار ذو الكلفة الأقل أي أنها تسعى إلى تقليل كلفة المطابقة لكل بيكسل حتى القيمة الدنيا وذلك من الحافة اليسرى الدنيا إلى الحافة اليمنى العليا [8]. من خلال المعادلة (5) :

$$\min_{\{d\}} \sum_{x=1}^N C(x, y, d) \quad (5)$$

حيث تمثل $C(x, y, d)$ تابع الكلفة المستخدم من قبل الخوارزمية وهو تابع مجموع الفروقات المربعة SAD في

هذا البحث.



الشكل (4) مبدأ عمل خوارزمية البرمجة الديناميكية

1-2-4- هرمية الصور Image pyramiding :

على الرغم من أن الخوارزميات المبنية على أساس مطابقة الكتل كالبرمجة الديناميكية تزيد من دقة الصور المجسمة إلا أنها مكلفة جدا ومعقدة حسابيا، ويكون أحد الحلول المطروحة هو استخدام هرمية الصور. حيث وعندما كانت لدينا صورة ذات حجم كامل ، كان علينا البحث عبر مدى بيكسلات قدره 15 بيكسل من أجل حساب التفاوت في الصورة. بالتالي إذا صغرنا حجم الصورة بعامل قدره 2 سوف يقل البحث إلى 7 بيكسلات، وتصبح المساحة أقل بمقدار الربع وبالتالي هذه الخطوة تقلل الكلفة بعامل قدره 8. بعد ذلك نستخدم التفاوت المخمن في هذه الخطوة التي تم فيها تقليل الحجم كدخل للمرحلة التي سيتم فيها البحث ضمن الصورة الأكبر. وبالتالي نحتاج للبحث ضمن نطاق أصغر من التفاوتات[9].

2- ضغط الصور المجسمة Stereo image Compression :

تعرف عملية ضغط الصورة بأنها إحدى تطبيقات ضغط البيانات الهادفة إلى ترميز الصورة بعدد بتات أقل [10]

صنفت الدراسات المرجعية خوارزميات ضغط الصور المجسمة في ثلاث فئات هي خوارزميات الضغط غير المتناظر وفيها تطبق كميات غير متساوية من الضغط على الصورتين اليمنى واليسرى مما يؤدي إلى تشويه غير متساوي. وخوارزميات الضغط المتناظر وفيها تطبق نفس كمية الضغط على كلتا الصورتين اليسرى واليمنى مما يؤدي إلى تشويه متساوي. وخوارزميات ضغط الصورة المرجعية وخريطة التفاوت يتم ضغط إحدى الصورتين وإرسالها مع خريطة تفاوت دقيقة محصلة من كلتا الصورتين ومن ثم يتم استخدام خريطة التفاوت لاستكمال المشهد الآخر الذي لم يتم ترميزه انطلاقا من الصورة التي تم ضغطها [11]، وقد اعتمدنا في هذا البحث على هذه الطريقة.

3- الضغط التجزيئي للصور Fractal image compression :

يعرف الضغط التجزيئي بأنه خوارزمية ضغط ذات خسارة تعتمد على نظام التابع المتكرر الجزئي Partitioned Iterated Function System (PIFS) الذي يستغل ميزة التشابه الذاتي للصورة كي يضغطها [12]، حيث تمثل الصورة بتحويلات مقارنة مقلصة وتوابع رياضية متكررة، ومن ثم تستخدم هذه التوابع والتحويلات لإعادة إنتاج الصورة الأصلية خلال طور فك الترميز. يتميز الضغط التجزيئي بنسب ضغط عالية وسرعة في طور فك الترميز وبأنه مستقل عن الحجم أي يمكن فك ضغط الصورة بأي حجم دون أن تتأثر الجودة [13].

3-1- الترميز التجزيئي للصورة باستخدام طريقة التقسيم باستخدام شجرة الأرباع :

يتم تقسيم الصورة إلى مجموعة من الكتل المربعة غير المتراكبة والتي تسمى كتل المدى R_n بحجم $B*B$ ، كما تقسم الصورة إلى كتل مربعة متراكبة تسمى كتل المجال D_n بحجم $2B*2B$ ، وهذا يعني أن بيكسلات كتلة المجال تخضع لتابع القيمة المتوسطة بمجموعات مكونة من أربع بيكسلات حتى يتم تقليص حجمها إلى حجم كتل المدى ومن أجل كل كتلة مدى $R_i \in R_n$ تقوم خوارزمية الضغط بالبحث ضمن كافة كتل المجال من أجل أن توجد كتلة المجال $D_i \in D_n$ التي تطابق كتلة المدى المذكورة وفقا لتحويل متآلف w_i موافق، يتألف التحويل المتآلف من عمليات التمديد والقص والانتقال.

يتم اختيار كتلة المجال وفقا لمعيار تشابه بقيمة عتبة محددة مسبقا فإذا انتهت عملية البحث عن التشابه بالفشل يعاد تقسيم كتلة المدى إلى أربعة أرباع كل منها بحجم $B/2 * B/2$ وتكرر عملية البحث والتقسيم إلى أربع حتى يتحقق التوافق وفقا لقيمة معيار تشابه أو حتى نصل إلى الحجم الأصغر المسموح به لكتلة المدى[14]

يوصف التحويل المتألف بالمعادلة (6) [13]

$$w_i \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_i & b_i & 0 \\ c_i & d_i & 0 \\ 0 & 0 & s_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_i \\ f_i \\ o_i \end{pmatrix} \quad (6)$$

حيث تمثل a_i, d_i معاملات عملية التمديد، وتمثل b_i, c_i معاملات عملية القص و e_i, f_i معاملات عملية الانتقال. أما x, y تمثل إحداثيات البيكسل الذي يطبق عليه التحويل في لحظة معينة. ويمثل z قيمة السوية الرمادية للبيكسل المذكور، في حين يمثل o_i معامل النصوص و s_i التباين. [13]

تدعى كافة التحويلات w_i بـ W ويمثل رياضيا تحويل الصورة المرزمة تجزيئيا ويسمى في الأدبيات الرياضية بمعامل هاتشينسون. وتدعى الصورة التي تحقق العلاقة $f=W(f)$ بالنقطة الثابتة للتحويل W وتسمى في أدبيات معالجة الصورة بالجاذب لنظام التابع المتكرر. فإذا كان W تحويلا مقاربا متصلا عندئذ تكون الصورة f فريدة وهي تمثل تقريبا للصورة الأصلية أي أن الصورة وفقا لخوارزمية الضغط التجزيئي تخزن كمجموعة من التحويلات المتألفة، وعلى هذه الخاصية تبنى عملية فك الترميز رياضيا. [13]

حيث يتم الحصول على الصورة مفكوكة الترميز من خلال تكرار تطبيق التحويل W على صورة ابتدائية، ومن أجل كل (R_i, D_i) يتم حساب قيمة D_i من خلال تطبيق التحويل w_i الموافق على كتلة المدى R_i وتضرب قيم البيكسلات الناتجة بـ s_i وتضاف لها قيمة o_i وتوضع في موقع كتلة المدى الموافقة، ويتم تكرار هذه العملية حتى الوصول إلى النقطة الثابتة والتي تعني الصورة مفكوكة الترميز. [12]

النتائج والمناقشة :

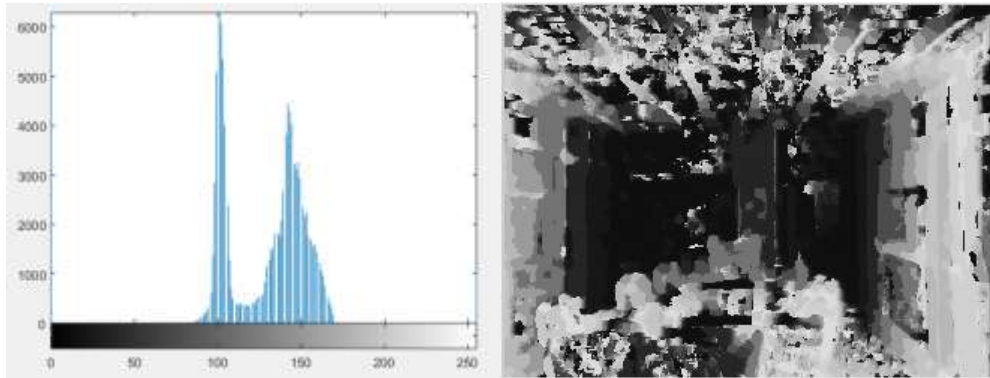
استخدم برنامج MATLAB2015 من أجل تحصيل خرائط التفاوت باستخدام خوارزميات مطابقة الكتل وتخمين البيكسل الفرعي والبرمجة الديناميكية وهرمية الصور واستخدم MATLAB2015 من أجل تحصيل معايير التقييم الموضوعي لجودة الصور المستخلصة بعد فك الضغط ومعايير التقييم الموضوعي لكفاءة الضغط. كما تم الاعتماد على صفوف وطرق لغة البرمجة JAVA من أجل القيام بالضغط وفك الضغط التجزيئي لصورة المشاهد الأيسر وخرائط التفاوت المحصلة باستخدام الخوارزميات المعتمدة في هذا البحث. يبين الشكل (5) المشاهد الأيمن والأيسر المشكلين لزوج الصورة المجسمة المستخدمة في البحث



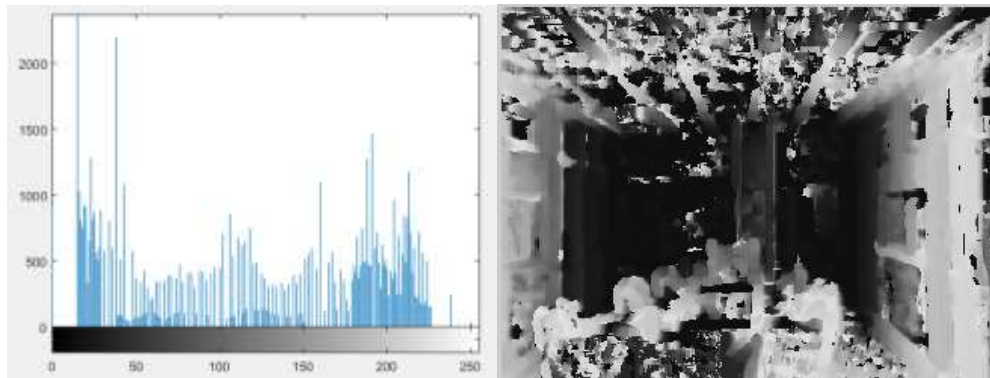
الشكل (5) صورتى المشهد اليمنى واليسرى للصورة المجسمة المستخدمة في هذا البحث

1- الخطوة الأولى : تحصيل خرائط التفاوت :

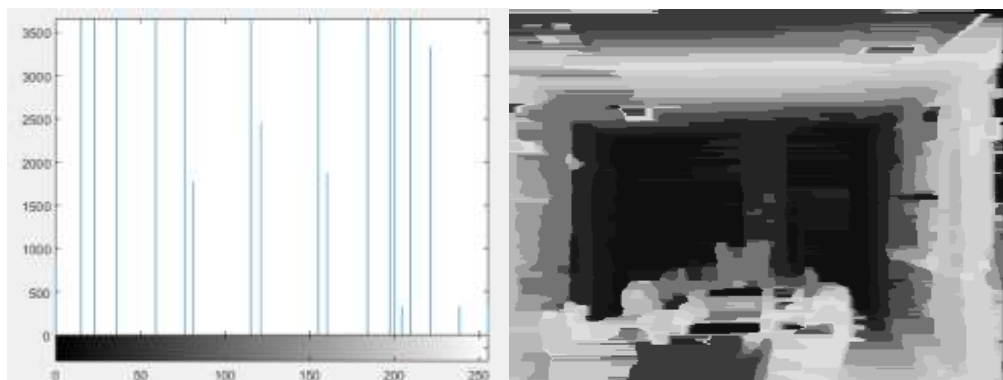
تم تطبيق أربع خوارزميات لتخمين التفاوت بين الزوج الأيمن والأيسر والمشكل للصورة المجسمة المستخدمة في البحث هي خوارزمية مطابقة الكتل الشاملة وخوارزمية التخمين على أساس دقة البيكسل الفرعي وخوارزمية البرمجة الديناميكية وخوارزمية هرمية الصور وتظهر الأشكال (6) و(7) و(8) و(9) هذه الخرائط مع الهستوغرام الخاص.



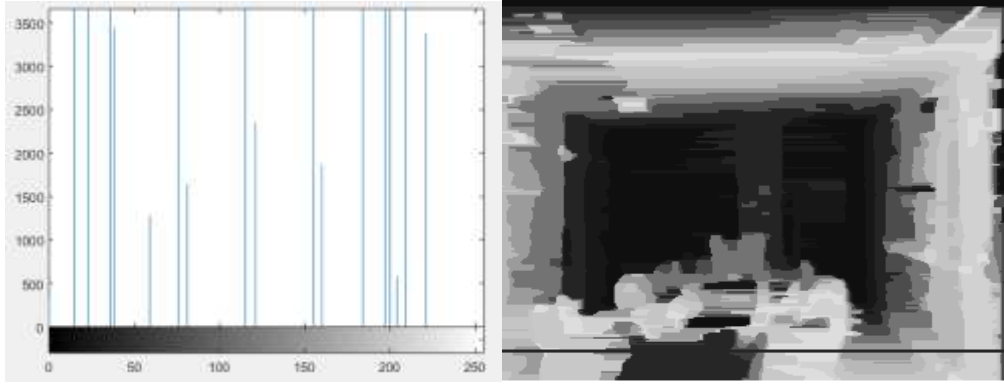
الشكل (6) إلى اليمين خريطة التفاوت المحصلة باستخدام خوارزمية مطابقة الكتل الشاملة وإلى اليسار الهستوغرام الخاص بها



الشكل (7) إلى اليمين باستخدام خوارزمية التخمين على أساس دقة البيكسل الفرعي وإلى اليسار الهستوغرام الخاص بها



الشكل (8) إلى اليمين خريطة التفاوت المحصلة باستخدام خوارزمية البرمجة الديناميكية ، وإلى اليسار الهستوغرام الخاص بها



الشكل (9) إلى اليمين خريطة التفاوت المحصلة باستخدام خوارزمية هرمية الصور وإلى اليسار الهستوغرام الخاص بها

نلاحظ من الشكلين (6) و (7) بأنه وعلى الرغم من أن عين الناظر قد لا تتحسس للتحسين الذي طرأ على خريطة التفاوت المحصلة باستخدام خوارزمية التخمين على أساس دقة البيكسل الفرعي إلا أن الهستوغرام الخاص بها يوضح الفرق بينها وبين خريطة التفاوت المحصلة باستخدام خوارزمية مطابقة الكتل الشاملة حيث نلاحظ بأنه تم نشر القيم الرمادية على كامل المجال اللوني مما يدل بأن خريطة التفاوت المحصلة باستخدام خوارزمية التخمين على أساس دقة البيكسل الفرعي لديها تباين أفضل. كما نلاحظ بأن خرائط التفاوت المحصلة باستخدام خوارزميتي البرمجة الديناميكية وهرمية الصور أكثر نعومة واستمرارية من الخريبتين آنفتي الذكر وذلك بسبب حل هاتين الخوارزميتين لمشكلة التغطية.

2- الخطوة الثانية : الضغط التجزيئي لصورة المشاهد الأيسر وصور خرائط التفاوت :

تم تطبيق الضغط التجزيئي المعتمد على خوارزمية التقسيم باستخدام شجرة الأرباع، وقد قمنا بإجراء اختبار يتعلق بمدى تأثير جودة وكفاءة الضغط بحجم كتلة المدى الأصغري ضمن شجرة الأرباع .

تم استخدام بارامترى الخطأ الوسطي التربيعي (MSE) Mean Square Error ونسبة الإشارة إلى الضجيج العظمى Peak Signal to Noise Ratio(PSNR) لقياس أمانة الضغط وهو يعني مدى تشابه الصورة الأصلية قبل الضغط مع الصورة المستخلصة بعد فك الضغط وتعطي المعادلتين (7) و(8) قيم هذين البارامتريين [15]

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - f'(x, y)]^2 \quad (7)$$

$$PSNR(db) = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (8)$$

حيث M, N عدد البيكسلات في الأسطر والأعمدة للصورة ، و $f(x, y)$ الصورة الأصلية و $f'(x, y)$ الصورة مفكوكة الضغط.

هناك عدة بارامترات تستخدم لقياس كفاءة الضغط ويعتبر بارامتر نسبة الضغط (CR) Compression Ratio أشهرها حيث أنه يصف قدرة خوارزمية الضغط المستخدمة على تقليل المساحة المطلوبة من أجل تخزين البيانات ويعطى بالعلاقة (9)

$$CR = B_{org} / B_{comp} \quad (9)$$

حيث B_{org} عدد بتات الصورة الأصلية و B_{comp} عدد بتات الصورة المضغوطة .

كما يؤدي بارتفاع النسبة المئوية للضغط نفس الوظيفة ويعطى بالعلاقة التالية [14]:

$$CP = (1 - 1/CR) * 100\% \quad (10)$$

حيث تبين الجداول (1) و(2) و(3) قيم كل من نسب الضغط ومعدلات الضغط والخطأ الوسطي التربيعي ونسبة الإشارة إلى الضجيج العظمى والزمن المستغرق للضغط عند استخدام حجم كتلة مدى أصغري قدره 4 و 8 و 16 بيكسل على الترتيب

الجدول (1) معايير التقييم الموضوعي لجودة وكفاءة الضغط التجزيئي للصور عند اختيار حجم أصغري لكتلة المدى يساوي 4 بيكسل

	PSNR	MSE	Time(hh:mm:ss)	CP	CR
Left Scene	32.6567	35.2703	00:08:32	89.462	9.489
Block Matching	31.5807	45.1869	00:07:38	89.948	9.949
Sub pixel estimation	31.1803	49.5507	00:07:45	90.13	10.132
Dynamic Programming	34.5458	22.8295	00:01:11	96.195	26.282
Image Pyramiding	34.5925	22.5853	00:01:29	96.119	25.768

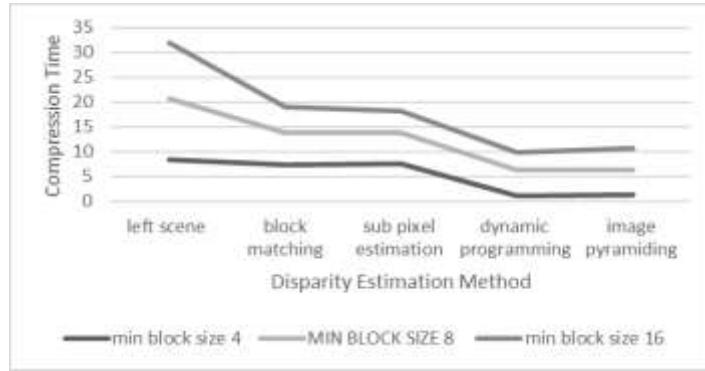
الجدول (2) معايير التقييم الموضوعي لجودة وكفاءة الضغط التجزيئي للصور عند اختيار حجم أصغري لكتلة المدى يساوي 8 بيكسل

	PSNR	MSE	Time(hh:mm:ss)	CP	CR
Left Scene	33.46	29.24	00:12:42	97.357	37.8499
Block Matching	30.43	64.04	00:06:45	97.355	37.821
Sub pixel estimation	30.03	64.522	00:06:38	97.352	37.757
Dynamic Programming	31.71	43.81	00:05:07	98.07	51.9
Image Pyramiding	30.29	60.735	00:05:09	98.03	50.77

الجدول (3) معايير التقييم الموضوعي لجودة وكفاءة الضغط التجزيئي للصور عند اختيار حجم أصغري لكتلة المدى يساوي 16 بيكسل

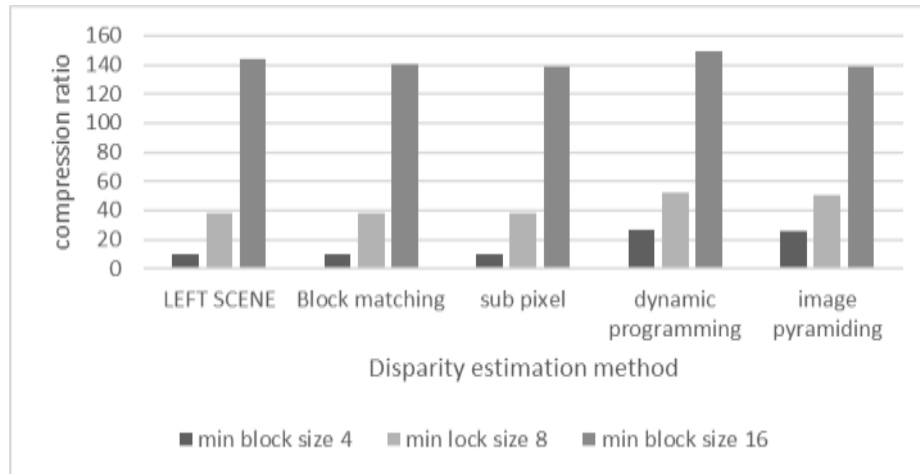
	PSNR	MSE	Time(hh:mm:ss)	CP	CR
Left Scene	30.4898	58.0896	00:11:18	99.30	143.85
Block Matching	28.9025	83.7198	00:05:13	99.28	140.20
Sub pixel estimation	28.8928	83.9071	00:04:36	99.27	138.41
Dynamic Programming	29.6956	69.7466	00:03:55	99.33	149.61
Image Pyramiding	29.0907	80.1693	00:04:36	99.27	138.41

يبين الشكل (10) العلاقة بين تغيير الحجم الأصغري لكتلة المدى المستخدم في خوارزمية شجرة الأرباع وبين زمن الضغط حيث يظهر الشكل أن زمن الضغط ينخفض بشكل كبير عندما يقل حجم الأصغري لكتلة المدى وذلك من أجل صورة المشهد الأيسر ومن أجل كافة خوارزميات تعويض التفاوت المستخدمة في البحث



الشكل (10) علاقة الحجم الأصغري لكتلة المدى في شجرة الأرباع بزمن الضغط

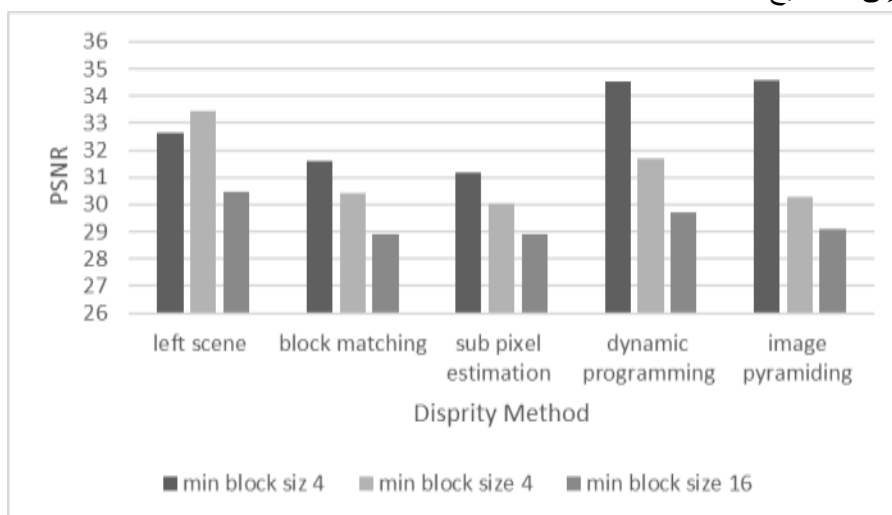
يمكن تفسير هذه الظاهرة بأن تصغير الحجم الأصغري المسموح لكتل المدى في شجرة الأرباع يزيد من ملائمة محتوى الصورة ويسهل عملية إيجاد التطابقات بين كتل المدى وكتل المجال وبالتالي يقلل من زمن الضغط. يبين الشكل (11) العلاقة بين تغيير الحجم الأصغري لكتلة المدى المستخدم في خوارزمية شجرة الأرباع وبين معدل الضغط حيث يظهر أن معدل الضغط يزداد بشكل كبير كلما زاد الحجم الأصغري لكتلة المدى المستخدمة في شجرة الأرباع والعكس بالعكس وذلك بالنسبة لكافة خوارزميات تعويض التفاوت المستخدمة في البحث، أي أن كفاءة الضغط تزداد عند ازدياد الحجم الأصغري لكتلة المدى وتنقص عند نقصانه. ويمكن تفسير هذه الظاهرة بأن زيادة الحجم الأصغري المسموح به لكتل المدى يسبب نقصان عددها مما يقلل من طول الرمز التجزيئي الممثل لصيغة ملف الصورة المضغوطة أي يقلل حجم ملف الصورة المضغوط وفقاً للمعادلة (9) وبالتالي يزداد معدل الضغط عند ازدياد الحجم الأصغري لكتلة المدى وينقص بنقصانه. كما يوضح الشكل أيضاً العلاقة بين معدل الضغط وخوارزمية تعويض التفاوت المستخدمة حيث يبين أن معدلات الضغط الأعلى تم الحصول عليها عند استخدام البرمجة الديناميكية كخوارزمية تعويض تفاوت.



الشكل (11) علاقة الحجم الأصغري لكتلة المدى في شجرة الأرباع بمعدل الضغط

يوضح الشكل (12) تأثير خوارزمية تعويض التفاوت على جودة الضغط التجزيئي للصور، حيث يلاحظ من الشكل أن الجودة الأعلى تتحقق عند تطبيق خوارزمية البرمجية الديناميكية كخوارزمية تعويض تفاوت تليها خوارزمية هرمية الصور ومن ثم خوارزمية مطابقة الكتل، في حين يحقق الضغط التجزيئي في حال استخدام خوارزمية مطابقة الكتل مع استخدام دقة البيكسل الفرعي أقل جودة للضغط. كما يوضح الشكل أيضاً تأثير الحجم الأصغري لكتلة المدى المستخدمة على جودة الضغط التجزيئي للصور حيث نلاحظ أنه وعند إنقاص حجم البلوك المدى الأصغري تزداد نسبة

الإشارة إلى الضجيج وبالتالي تزداد جودة الضغط وذلك لكافة خوارزميات تعويض التفاوت المستخدمة في البحث. ويمكن تفسير هذه الظاهرة بأن تقليل الحجم الأصغري لكثافة المدى يزيد ملائمة الصورة ويزيد تكيف محتواها عند البحث عن التشابه الذاتي بين كتل المدى وكتل المجال مما يؤدي إلى تقليل الخطأ الناتج عند إجراء المطابقة وبالتالي زيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج.



الشكل (12) تأثير خوارزمية تعويض التفاوت والحجم الأصغري كثافة المدى على جودة الضغط التجزيئي

3- الخطوة الثالثة : استعادة الصورة اليمنى :

لتكن خريطة التفاوت $d(x,y)$ حيث x,y فهرسي السطر والعمود في خريطة التفاوت، وبما أن خريطة العمق تحتوي على الإزاحات المكانية بين البيكسلات المتطابقة في زوج الصور المجسمة بالتالي فإن الاستخلاص الكامل للصورة اليمنى $f_{RR}(x,y)$ يتم من خلال إزاحة خلفية في الصورة اليسرى بالنسبة لقيم التفاوت وذلك تبعاً للعلاقة التالية:

$$f_{RR}(x, y - d(x, y)) = f_L(x, y) \quad (11)$$

حيث f_{RR} هي الصورة اليمنى المستخلصة و f_L هي الصورة اليسرى و d خريطة التفاوت.

أي أنه ومن أجل الصورة المجسمة يتم ضغط كل من صورة المشهد الأيسر وخريطة التفاوت ضغطاً تجزيئياً ويتم استعادة المشهد الأيسر وخريطة التفاوت بواسطة فك الضغط التجزيئي في حين تتم استعادة صورة المشهد اليمنى من الصورة اليسرى وخريطة التفاوت بواسطة المعادلة (12)

يبين الجدول (4) القيم النهائية لمعايير التقييم الموضوعي لجودة وكفاءة الضغط التجزيئي للصور، حيث يتم الاعتماد على المعادلات (12) و (13) و (14) و (15) من أجل حساب قيم هذه المعايير وذلك بالنسبة للزوج المجسم ككل

$$CR = (CR_{left} + CR_{disparity}) \quad (12)$$

حيث CR_{left} و $CR_{disparity}$ هي معدل الضغط لكل من الصورة اليسرى وصورة خريطة التفاوت على الترتيب

$$psnr = (psnr_{left} + psnr_{disparity}) \quad (13)$$

حيث $psnr_{left}$ و $psnr_{disparity}$ هي نسبة الإشارة إلى الضجيج العظمى لكل من من الصورة اليسرى وصورة خريطة التفاوت على الترتيب

$$mse = (mse_{left} + mse_{disparity}) \quad (14)$$

حيث mse_{left} و $mse_{disparity}$ هي الخطأ الوسطي التريبعي لكل من الصورة اليسرى وصورة خريطة التفاوت على الترتيب

$$CT = (CT_{left} + CT_{disparity}) \quad (15)$$

حيث CT_{left} و $CT_{disparity}$ هي الزمن المستغرق لضغط لكل من الصورة اليسرى وصورة خريطة التفاوت

الجدول (4) القيم النهائية لمعايير التقييم الموضوعي لجودة وكفاءة الضغط التجزيئي

للصورة المجسمة عند استخدام حجم أصغري لكتلة المدى قدره 4 بيكسل

Left Scene	PSNR	MSE	CT	CR	CP
Block Matching	32.1187	40.2286	00:16:10	9.919	89.91
Sub pixel estimation	31.918	42.38	00:16:17	9.81	89.8
Dynamic Programming	33.609	29.0499	00:09:42	17.8855	94.4
Image Pyramiding	33.624	28.9278	00:10:01	17.6285	94.32

يتم حساب القيم النهائية لمعايير التقييم الموضوعي لجودة وكفاءة الضغط بنفس الطريقة لكافة أحجام كتل المدى المدروسة في البحث بنفس الطريقة ويوضح الجدولين (5) و (6) القيم النهائية لجودة وكفاءة الضغط التجزيئي للصورة المجسمة عند استخدام حجم كتلة مدى 8 بيكسل و 16 بيكسل

الجدول (5) القيم النهائية لمعايير التقييم الموضوعي لجودة وكفاءة الضغط التجزيئي

للصورة المجسمة عند استخدام حجم أصغري لكتلة المدى قدره 8 بيكسل

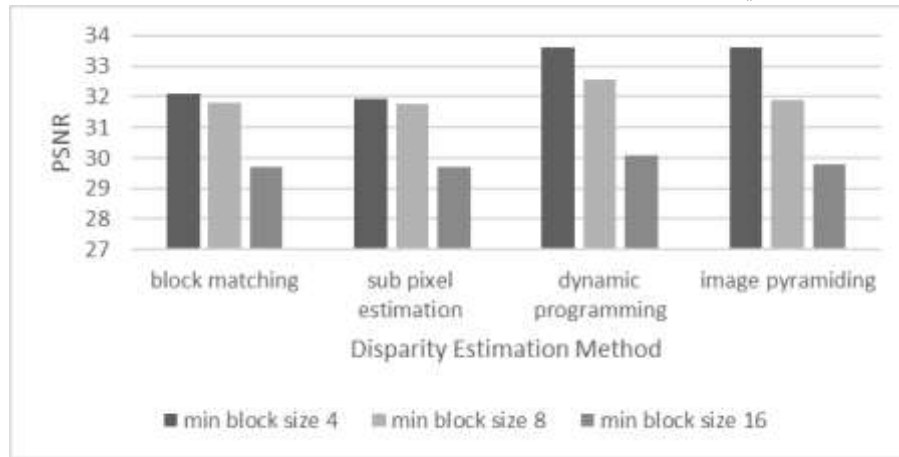
Left Scene	PSNR	CT	CR	CP
Block Matching	31.52	00:19:27	37.83	97.35
Sub pixel estimation	31.745	00:18:08	37.795	97.35
Dynamic Programming	32.585	00:17:49	44.87	97.77
Image Pyramiding	31.875	00:17:51	44.305	97.74

الجدول (6) القيم النهائية لمعايير التقييم الموضوعي لجودة وكفاءة الضغط التجزيئي

للصورة المجسمة عند استخدام حجم أصغري لكتلة المدى قدره 8 بيكسل

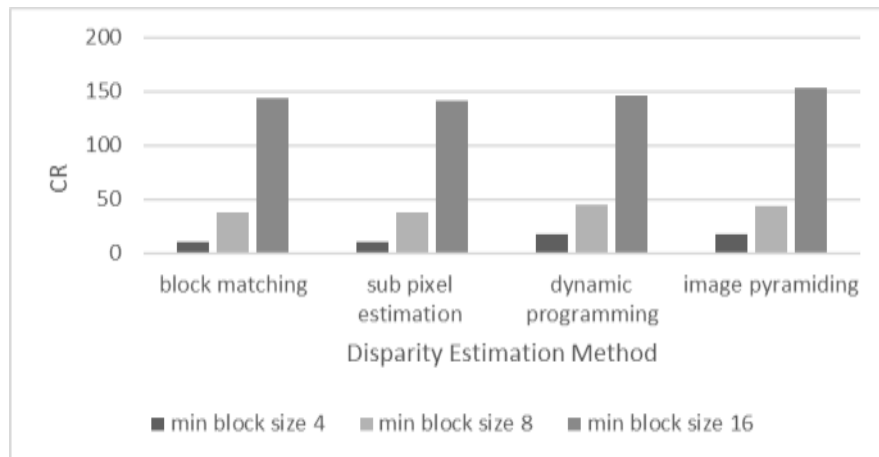
Left Scene	PSNR	CT	CR	CP
Block Matching	29.696	00:16:33	144.1	99.3
Sub pixel estimation	29.691	00:15:54	141.13	99.29
Dynamic Programming	30.0927	00:15:13	146.73	99.31
Image Pyramiding	29.7902	00:15:54	153.26	99.34

ويوضح الشكل (13) القيم النهائية لمعيار نسبة الإشارة إلى الضجيج العظمى بالنسبة لكافة خوارزميات تعويض التفاوت المستخدمة في البحث.



الشكل (13) القيم النهائية لنسب الإشارة إلى الضجيج المحققة عند تطبيق الضغط التجزيئي على الصورة المجسمة وعلاقتها بخوارزمية تعويض التفاوت

ويوضح الشكل (14) القيم النهائية لمعيار معدل الضغط بالنسبة لكافة خوارزميات تعويض التفاوت المستخدمة في البحث.



الشكل (14) القيم النهائية لمعدلات الضغط المحققة عند تطبيق الضغط التجزيئي على الصورة المجسمة وعلاقتها بخوارزمية تعويض التفاوت

4- المقارنة مع خوارزميات ضغط الصور المجسمة المعتمدة jpeg و jpeg 2000 و SPIHT:

تم ضغط صور المشهد الأيسر وصور خرائط التفاوت المحصلة في الخطوة الأولى بواسطة خوارزمية JPEG و JPEG2000 و SPIHT والتي تعد الخوارزميات المرجعية في مجال ضغط الصور المجسمة باستخدام برنامج VCdemo. وذلك من أجل مقارنة نتائج دراستنا مع هذه الخوارزميات ويوضح الجدول (7) قيم نسب الإشارة إلى الضجيج النهائية بعد تعويض قيم نسبة الإشارة إلى الضجيج لكل من الصورة اليسرى وصور خرائط التفاوت وذلك لكل خوارزمية من خوارزميات الضغط آنفة الذكر بالمعادلة (12)

الجدول (7) القيم النهائية لنسب الإشارة إلى الضجيج العظمى PSNR بالنسبة للخوارزميات JPEG , JPEG200 , SPIHT

	Block Matching			Sub pixel Estimation			Dynamic Programming			Image Pyramiding		
	JPEG	JPEG2000	SPIHT	JPEG	JPEG2000	SPIHT	JPEG	JPEG2000	SPIHT	JPEG	JPEG2000	SPIHT
4	25.25	28.4	28.6	25.2	28.3	28.6	29.4	33.3	33.3	28.7	33.3	32.9
8	21.39	27.3	26.3	21.7	27.2	26.3	27.2	31.7	30.6	24.4	31.7	30.3
16	18.35	26.35	23.8	18.3	26.2	23.8	21.4	30.15	27.4	21.1	30.1	26.6

تظهر الأشكال (15) و(16) و (17) و(18) صور المشهد الأيسر مفكوكة الضغط بواسطة خوارزمية الضغط التجزيئي عند استخدام أحجام أصغرية لكتل المدى 4 و 8 و 16 و المشاهد اليسرى مفكوكة الضغط باستخدام خوارزميات jpeg المعتمد على تحويل التجب المتقطع DCT و jpeg 2000 المعتمد على تحويل الموجة المتقطع و SPIHT عند نفس نسب الضغط المحصلة باستخدام خوارزمية الضغط التجزيئي



الشكل (15) صورة المشهد الأيسر بعد فك الضغط بواسطة خوارزمية الضغط التجزيئي للصور ، إلى اليمين باستخدام حجم أصغري لكتلة المدى 4 في الوسط 8 إلى اليسار 16



الشكل (16) صورة المشهد الأيسر بعد فك الضغط بواسطة خوارزمية jpeg عند استخدام نفس نسب الضغط المحققة في الضغط التجزيئي

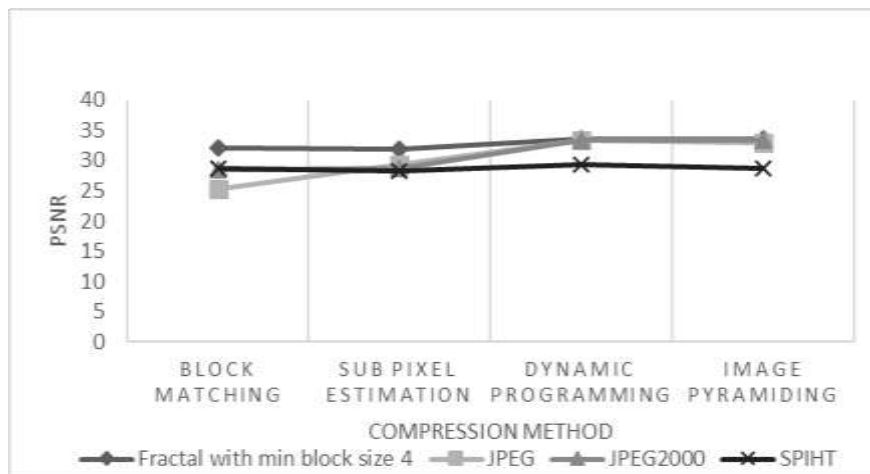


الشكل (17) صورة المشهد الأيسر بعد فك الضغط بواسطة خوارزمية jpeg2000 عند استخدام نفس نسب الضغط المحققة في الضغط التجزيئي



الشكل(18) صورة المهشد الأيسر بعد فك الضغط بواسطة خوارزمية SPIHT عند استخدام نفس نسب الضغط المحققة في الضغط التجزيئي

يبين الشكل (19) نسب الإشارة إلى الضجيج النهائية المحصلة عند تطبيق خوارزميات الضغط JPEG و JPEG2000 و SPIHT و خوارزمية الضغط التجزيئي باستخدام شجرة الأرباع وبحجم كتلة مدى أصغري قدره 4 بيكسل ويظهر المخطط تفوق الضغط التجزيئي على كافة خوارزميات الضغط الأخرى عند تطبيقها بنفس نسب الضغط.



الشكل(19) نسب الإشارة إلى الضجيج المحققة بواسطة خوارزميات الضغط التجزيئي و JPEG و JPEG2000 و SPIHT

الاستنتاجات والتوصيات :

- 1- إن تصغير الحجم الأصغري لكتلة المدى في شجرة الأرباع يزيد جودة الضغط التجزيئي للصور المجسمة، حيث حصلنا عند تطبيق الضغط التجزيئي المعتمد على التقسيم باستخدام شجرة الأرباع بحجم أصغري 4 بيكسل لكتلة المدى على قيمة متوسطة لبارمتر نسبة الإشارة إلى الضجيج قدرها 32.9 مقابل قيمة متوسطة لنفس البارمتر قدرها 31.184 عند استخدام حجم أصغري لكتلة المدى قدره 8 بيكسل وقيمة متوسطة 29.41 عند 16 بيكسل.
- 2- إن زيادة الحجم الأصغري لكتلة المدى في شجرة الأرباع يزيد وبشكل كبير من معدل الضغط التجزيئي للصور المجسمة حيث حصلنا عند تطبيق الضغط التجزيئي المعتمد على التقسيم باستخدام شجرة الأرباع بحجم أصغري لكتلة المدى 4 بيكسل على قيمة متوسطة لبارمتر معدل الضغط قدرها 16.324 مقابل قيمة متوسطة لنفس البارمتر قدرها 43.21 عند استخدام حجم أصغري لكتلة المدى قدره 8 بيكسل وقيمة 142.09 عند 16 بيكسل .

- 3- إن تصغير الحجم الأصغري لكتلة المدى في شجرة الأرباع يقلل من زمن الضغط ويمكن تفسير هذه الظاهرة بزيادة تكيف محتوى الصورة بحيث يسهل إيجاد التطابقات بين كتل المجال وكتل المدى مما يسبب سرعة انتهاء عملية البحث وبالتالي تصغير الزمن الكلي للضغط التجزيئي.
- 4- حققت خوارزمية البرمجة الديناميكية أعلى نسبة ضغط وأعلى جودة، في حين حققت خوارزمية مطابقة الكتل القيم الأدنى من أجل كافة هذه البارامترات.
- 5- تفوقت خوارزمية الضغط التجزيئي المعتمد على خوارزمية الضغط باستخدام شجرة الأرباع على خوارزميات jpeg المعتمد على تحويل التجب المنقطع DCT و JPEG2000 المعتمد على تحويل الموجة المنقطع و خوارزمية SPIHT عند تطبيق هذه الخوارزميات على نفس جهاز الحاسب بنفس نسب الضغط المحققة بواسطة الضغط التجزيئي .
- 6- من أجل تقليل زمن الضغط التجزيئي نوصي باستخدام خوارزمية البحث المحلي كاستراتيجية للبحث عن التشابه الذاتي في الصورة عند تطبيق الضغط التجزيئي للصور المجسمة.
- 7- من أجل تحسين جودة استخلاص الصورة اليمنى نوصي بإرسال صورة الخطأ بين الصورة اليمنى الأصلية والصورة اليمنى المبنية انطلاقاً من الصورة اليسرى وخريطة التفاوت .

المراجع :

- [1] Qingqing,W. *CONVERTING 2D TO 3D*, Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, Delft University of Technology, Information and Communication Theory Group (ICT),2015,page4,5،
- [2] Olofsson, A . *MODERN STEREO CORRESPONDENCE ALGORITHMS INVESTIGATION AND EVALUATION*, Department of Electrical Engineering , Linköping University 2010,page 3-9
- [3] SZELISKI,R. *COMPUTER VISION ALGORITHMS AND APPLICATIONS*.1st ed, Springer, London, 2011, 979 .
- [4] Scharstein ,D ; SZELISKI,R. *A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms*, *IEEE TPAMI*, 20(12):1283–1294,2015,page 5-10
- [5] Chang,Y; Liu,H; Chen,T.*IMPROVING SUBPIXEL STEREO MATCHING WITH SEGMENT EVOLUTION* , School of Electrical and Computer Engineering, Cornell University, Ithaca, NY, USA
- [6] Fisher,B.*SUB-PIXEL ESTIMATION*, University of Edinburgh
- [7] Gong,M;Yan,Y;*FAST STEREO MATCHING USING RELIABILITY-BASED DYNAMIC PROGRAMMING AND CONSISTENCY CONSTRAINTS*, Dept. of Computing Science, Univ. of Alberta, Edmonton, AB, Canada, IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2003) 2-Volume Set 0-7695-1950-4/03,2013
- [8]KIM,J ;LEE,K ;CHOI,B.*A DENSE STEREO MATCHING USING TWO-PASS DYNAMIC PROGRAMMING WITH GENERALIZED GROUND CONTROL POINTS*, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) 1063-6919/05 ,2005
- [9]KIM,J ;LIU,C; SHA,F;Grauman,K .*DEFORMABLE SPATIAL PYRAMID MATCHING FOR FAST DENSE CORRESPONDENCES* , Microsoft Research New England,IEEE,2013

[10]Gaurav ,K, Pragati, S ;A *SURVEY OF VARIOUS IMAGE COMPRESSION TECHNIQUES FOR RGB IMAGES* , Department of CSE , Bhopal, India , International Journal of Engineering Science and Computing, IJESC, Vol(6)No. 5 2016 IJESC , page 2

[11] Ramaprabha,T ,Dr.M,M,Sathik . *STUDY OF PERFORMANCE MEASUREMENT FACTORS OF STEREO IMAGE COMPRESSION* , International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 2, Issue 7, July 2012

[12]T,N, Son; HOANG ,T, M; DZUNG ,N,T. *FAST IMPLEMENTATION OF FRACTAL IMAGE COMPRESSION*

[13] S. C. Shrivastav; A. Mansana.A REVIEW ON ENCODING AND DECODING FOR FRACTAL IMAGE COMPRESSION , International Journal of Advance Research In Science And Engineering, IJARSE, Vol. No.4, Special Issue (02), February 2015

[14] KAUR.R ; CHOUDHARY,P. *A REVIW OF IMAGE COMPRESSION TECHNIQUES* .INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER APPLICATIONS, (0975-8887),Volume 142-No,1,May2016,1-7

[15] CHETAN,L; SHARMA,D ;*FRACTAL IMAGE COMPRESSION USING QUAD TREE DECOMPOSITION & DWT*. International Journal of Scientific Engineering and Research ,2014,1-4