

كبس الصور الفضائية باستخدام شجرة الصفر للموجة المظمورة

أحمد خورشيد السليفاني

كلية الهندسة

فاتن عزيز مصطفى

مركز التحسس النائي

جامعة الموصل

تاريخ استلام البحث: ٢٠٠٥/١١/٢١

تاريخ قبول البحث: ٢٠٠٦/٤/٢

ABSTRACT

The compression technique is an optimal solution for decreasing the amount of information sent out from satellites to earth station with rate transmission.

In this paper, a study for the application of embedded zero tree wavelet (EZW) in image compression is incorporated. The study is implemented using the image processing toolbox of Matlab ver 6.5. The performance of the proposed algorithm is executed and tested using the standard image of Barbara with size 512×512 pixels in bmp format.

Different threshold values are used in the proposed algorithm to specify the compression ratio CR. The quality of reconstructed image is measured in terms of PSNR. The recorded results show that there are a trade off between the PSNR and CR and depends on the type of used image. In this work the extraction of the results are focused on two types of local area satellites images. The first image is the Mosul dam area with simple and limited topography. The second image is the Singar area with different and difficult topography. The results show that at threshold of 16, the CR is a round 1:60 with PSNR more than 34 dB, for the tested image.

الملخص

تُعد تقنية الكبس الحل الأمثل لتقليل حجم البيانات المنقولة عبر قنوات الأقمار الصناعية وبسرعة كبيرة جداً والمحافظة على هذه المعلومات وإيصالها إلى المحطات الأرضية.

يتضمن هذا البحث دراسة أداء تقنية شجرة الصفر الموجية المظمورة وتطبيقها في كبس الصور، وباستخدام برمجيات نظام الـ (Matlab Ver 6.5) وذلك عن طريق تطبيق الخوارزمية المعتمدة على ثلاث مراحل. تم فحص أداء هذه الخوارزمية على صورة ببرارة القياسية وهي من نوع (bmp) وبحجم (512×512) من النقاط الصورية.

أظهرت النتائج المسجلة أداءً متميزاً لهذه التقنية وذلك من خلال الاعتماد على قيمة العتبة المنتخبة (T-Threshold value) واختلاف قيمتها في الحصول على صورة مسترجعة واضحة المعالم وبنسبة كبس جيدة ، إذ تم تطبيق الخوارزمية على نوعين من الصور الفضائية، الأول يمثل منطقة ذات تغيرات أرضية محدودة الأصناف والتي تمثل صورة سد الموصل والثاني يمثل منطقة ذات تغيرات أرضية متعددة والتي تمثل منطقة سنجار. وقد أظهرت النتائج أنه عند العتبة (16) فإن نسبة الكبس (C R) نحو 60:1 ونسبة الإشارة إلى الضوضاء (PSNR) 34dB.

المقدمة

تعد تقنية الكبس الحل الأمثل لتقليل حجم البيانات المنقولة عبر قنوات الأقمار الصناعية، إذ إن سرعة زيادة المعلومات المرسلية بشكل يفوق قابلية نقلها عبر هذه الأقمار أدت إلى الحاجة إلى تقنية الكبس لإكمال عمليتي الإرسال والاتصال عبر قنواتها وإيصال معلوماتها إلى الأرض [6].

تتضمن عملية الكبس مفهومين أساسيين، هما تقليل حجم المعلومات المنقولة و تقليل الضوضاء التي تصاحب هذه المعلومات. أي أن عملية كبس البيانات تقلل من عدد البتات (Bytes) المطلوبة لتمثيل مجموعة البيانات (الصورة) كما أنها تقلل من حجم الذاكرة (Disk taps space) اللازمة ل تخزين مجموعة البيانات [5].

هنالك نوعان من طرائق الكبس التي صُنفت حسب طريقة حفظها للبيانات [11] [10] وهما الكبس بدون فقدان، الذي من الممكن إعادة البيانات التي تم كبسها بشكل مطابق للبيانات الأصلية. فالصورة المسترجعة تكون مطابقة تماماً للصورة الأصلية [5]، وتكون نسبة الكبس الناتجة في هذا النوع قليلة بحدود 10:1 من حجم الفايل المكون للصورة الأصلية [11]، والكبس بفقدان الذي تتم فيه خسارة جزء من مجموعة البيانات للصورة الأصلية ولكن هذه الخسارة لا تؤثر تأثيراً كبيراً في المعالم الرئيسية للصورة المكبوسة عند استرجاعها، إذ تبقى الصورة المسترجعة تحتفظ بالمعلومات الضرورية [5]. وتكون نسبة الكبس الناتجة في هذا النوع عالية بحدود 50:1 من حجم الفايل المكون للصورة الأصلية [11]، لذلك فإن هذا النوع يستخدم في تطبيقات التحسس النائي بسبب كبر حجم المعلومات المرسلية [7].

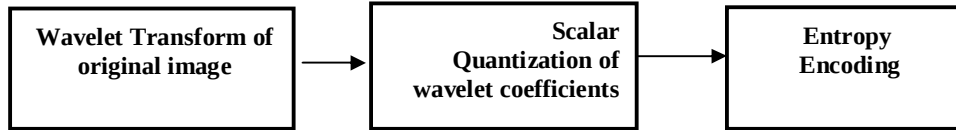
في هذا البحث اعتمدت طريقة الكبس بفقدان، وذلك من خلال تشفير بيانات الصورة الأصلية باستخدام خوارزمية شجرة الصفر للموجة المطمورة (Embedded Zero-Tree Wavelet EZW) لما لها من تأثير في تمثيل شكل البتات في الصورة والمرتبة حسب أهميتها في إظهار معالم الصورة عند الاسترجاع [8].

إذ تم استخدام برمجيات نظام الـ (Matlab ver 6.5) الذي أظهر كفاءة في التنفيذ عند تطبيق الخوارزمية، وبعد فحص أداء هذه الخوارزمية على صورة بربرة القياسية من نوع (bmp) وذات حجم (512×512) نقاط صورية ومن نوع (Gray 8bit) تم تطبيقها على نوعين من الصور الفضائية أحدهما يمثل منطقة سد الموصل التي امتازت بأنها منطقة ذات تغيرات أرضية محدودة الأصناف والثاني يمثل منطقة سنجار التي امتازت بأنها ذات تغيرات أرضية متعددة الأصناف .

خوارزمية شجرة الصفر للموجة المظمورة (EZW)

إن الفكرة الأساسية من تكوين شجرة الأصفار التي تبدأ من الجذر (Root) وإلى نهاية الأفرع، هي أن العديد من المعاملات غير المهمة في الحزم الفرعية للترددات العالية ممكن إهمالها. إن شجرة الصفر المظمورة تشفر هيكل الشجرة بحيث يمكن تمثيل المعاملات الناتجة بشكل متدرج وحسب أهمية مواقع الأرقام الثنائية المستخدمة في مستويات الأرقام الثنائية [4]، [9].

يتطلب تمثيل الخوارزمية وتكوين شجرة الصفر ثلاث مراحل أساسية، لاحظ الشكل (1) وهي كما يأتي [2].



الشكل (1)

المراحل الأساسية لتمثيل خوارزمية الـ (EZW) [2]

1- إجراء التحويل المويجي (Wavelet Transform): إذ يتم تحليل الصورة الداخلة إلى عدد من الحزم الفرعية ولعدة مستويات مما يؤدي إلى توزيع المعاملات في الحزم بحيث يكون هناك ارتباط بين المعاملات التي تقع في الاتجاه نفسه بشكل هرمي. يعد التمثيل الهرمي للمعاملات من الخواص المهمة في تطبيقات الكبس الذي يتم من خلاله تحديد المعاملات المهمة في حزم الترددات العالية [13]، [1].

2- التكميم العددي (Scalar Quantization): في هذه المرحلة يتم تقليل البيانات التي تمثل معاملات التحويل المويجي للصورة باستخدام التكميم العددي مما ينتج عنه فقدان في بعض المعلومات للصورة التي تتم عليها عملية الكبس [2].

وإيجاد قيمة العتبة عن طريق حساب القيمة العظمى (Max-value) التي تمثل قيمة أكبر معامل (M) من بين المعاملات الموجبة للصورة الناتجة (Y) من عملية التحويل الموجي ولثلاثة مستويات ويكون حساب هذه القيمة كالآتي :

$$M = \text{Maximum}(Y) \quad (1)$$

لإيجاد قيمة العتبة (T) التي عندها يحدد كل معامل في الصورة الناتجة على أنه معامل مهم يرمز له بالواحد (1) أو معامل غير مهم يرمز له بالصفر (0)، فإن قيمة العتبة تحسب من المعادلة الآتية :

$$T_0 = \text{floor} [2^{\log_2(M)}] \quad (2)$$

حيث تمثل :

T0 : القيمة الابتدائية لقيمة العتبة المنتخبة .

floor: تعبير رياضي يدل على أخذ قيمة ما بين القوسين وتقريبها إلى أقرب عدد صحيح أقل أو يساوي القيمة العددية الناتجة.

كانت قيمة العتبة الأولية لصورة بربرة القياسية عند حسابها مساوية لـ (256) الذي يعتبر المستوى الأول الذي بدأ فيه تطبيق الخوارزمية على الصورة، لاحظ الشكل (3). تم على أساس هذه القيمة فصل المعاملات المهمة والمعاملات غير المهمة بطريقة المسح المتعرج وبترتيب تنازلي. وتمثل جميع هذه المعاملات والمعاملات الأخرى التابعة لها في بقية الحزم الفرعية بشجرة الصفر (Zerotree). والتعبير عن كل معامل موجبة برمز معين يعبر عن حالة هذا المعامل نسبة إلى قيمة العتبة المنتخبة. وتكون هذه الرموز كالآتي [8]، [12]:

1- (P - Positive): إذا كانت قيمة المعامل أكبر من قيمة العتبة والقيمة النهائية بعد المقارنة أكبر من الصفر فالمعامل يرمز له بالرمز (P) .

2- (N-Negative): إذا كانت قيمة المعامل أصغر من قيمة العتبة والقيمة النهائية بعد المقارنة أقل من الصفر، يرمز له بـ (N) . أو قد يوجد معامل قيمته أكبر من قيمة العتبة ولكن القيمة النهائية له سالبة عندها يتم اخذ القيمة المطلقة لهذا المعامل .

3- (IZ- Isolated): إذا كان الجذر (Root) في الشجرة (Tree) أقل من قيمة العتبة ولكن يوجد في أحد المعاملات التابعة للشجرة نفسها وفي المستويات الأخرى ما تكون قيمته أكبر من قيمة العتبة، يرمز له بالرمز (I Z) .

4- (Z-Zerotree): إذا كان الجذر (Root) للشجرة قيمته أقل من قيمة العتبة وسائر المعاملات التابعة للشجرة نفسها لا يوجد فيها من تكون قيمته أكبر من قيمة العتبة، يرمز للمعاملات التابعة لهذه الشجرة بالرمز (Z).

تم أخذ المعاملات ذات الرموز (P,N)، إذ تتم مقارنتها مع قيمة المكمم العددي الذي تم حسابه بأخذ القيمة الوسطية لقيمة العتبة الحالية والقيمة التي تليها، فإذا كانت قيمة المعامل أكبر من قيمة المكمم العددي يعبر عنه بالـ(1) وإذا كان هذا المعامل أقل من قيمة المكمم العددي يعبر عنه بالـ(0) .

بعد كل عملية مسح (Scan) يتم تقسيم قيمة العتبة على 2 لكي تنتقل إلى المستوى الثاني في قيمتها وإلى حزمة فرعية بالمستوى الأعلى من الذي سبقه. إذ أنه في كل عملية مسح ترسل إشارة إلى المشفر لبيان فيما إذا كانت معاملات الموجة أكبر أو أصغر من قيمة العتبة وتعاد عملية تقسيم العتبة والمسح إلى أن تصبح قيمة العتبة أقل من قيمة أصغر معامل عندها تتوقف الخوارزمية. أو من الممكن التوقف عند أي مستوى لقيمة العتبة الذي تصل فيه الصورة المسترجعة إلى جودة استرجاع عالية ونسبة كبس جيدة .

في المستوى الأول من تنفيذ الخوارزمية وعند القيمة الابتدائية لقيمة العتبة كانت الصورة المسترجعة بعد عملية الكبس رديئة وغير واضحة المعالم، لاحظ الصورة الثانية من اليسار في الشكل (3) مما يدل على أن عدد الـ (pixels) المتكونة منها الصورة المسترجعة قليلة وذلك لأن قيمة العتبة الابتدائية تكون كبيرة ($T=256$)، فعدد المعاملات التي تكون أكبر من هذه القيمة أو تساويها قليل في الحزم الفرعية الأولى. بينما يزداد عدد هذه المعاملات عند الاستمرار بتنفيذ الـ (EZW) في المستوى الثاني والمستويات التي تليها لقيمة العتبة وذلك بقسمتها إلى نصف قيمتها الأصلية (القيمة التي تكون قيد التنفيذ) والاستمرار بالحزم الفرعية تصاعدياً إلى المستوى الذي يتم فيه الوصول إلى صورة واضحة المعالم بحيث تكون قريبة أو مطابقة ولكن ليس تماماً للصورة الأصلية . في المستوى الرابع لقيمة العتبة ($T=32$) تم الحصول على صورة بربارة المسترجعة استرجاعاً واضحاً يدل على أن الـ (pixels) المتكونة منها الصورة أخذت لها مدى أوسع من المستويات السابقة في إعطائها تفاصيل واضحة عن ملامح الصورة المسترجعة، لاحظ الشكل (3).

تم اعتماد نوعين من مقاييس الهدف لحساب قيمة الـ (rms^e) الذي يمثل قياس نسبة الخطأ بين قيم نقاط الصورة الأصلية وقيم نقاط الصورة المكبوسة، وحساب قيمة الـ (PSNR)

الذي يمثل القدرة العظمى للإشارة إلى الضوضاء التي تنتج نتيجة تطبيق الخوارزمية وكما موضح بالمعادلتين الآتيتين: [1] .

$$e_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{r=0}^{N-1} \sum_{c=0}^{N-1} [\hat{I}(r, c) - I(r, c)]^2}$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(L-1)^2}{\frac{1}{N^2} \sum_{r=0}^{N-1} \sum_{c=0}^{N-1} [\hat{I}(r, c) - I(r, c)]^2}$$

حيث إن:

$I(r, c)$: تمثل نقاط الصورة الأصلية .

$\hat{I}(r, c)$: تمثل نقاط الصورة المسترجعة .

L : تمثل أعلى قيمة من قيم نقاط الصورة الأصلية.

ففي المستوى الأول من تنفيذ الخوارزمية وعند القيمة الابتدائية لقيمة العتبة تكون القيمة المحسوبة للـ (e_{rms}) كبيرة مما يدل على وجود فرق كبير بين الصورة الأصلية والصورة المكبوسة بينما في المستوى الثاني والمستويات التي تليه تقل هذه القيمة مما يؤكد وضوح الصورة المكبوسة وقربها من الصورة الأصلية مع زيادة مقياس جودة استرجاعها ، لاحظ النتائج في الجدول (1) .



تيلسكوباً فضائياً



المستوى الأول
T=256



المستوى الثاني
T=128



المستوى الثالث
T=64



المستوى الرابع
T=32

الشكل (3)

صورة بربارة القياسية المسترجعة الناتجة من تطبيق خوارزمية EZW

Threshold value	CR	σ_{rms}	PSNR
256	87.0849:1	512.3789	21.0349
128	82.6904:1	199.4961	25.1315
64	75.9765 :1	55.4727	30.6900
32	63.0859 :1	41.9648	33.1515
16	37.8967 :1	31.4727	35.1018
8	12.2314 :1	16.007	35.2333

الجدول (2)

مقياس جودة الصور المسترجعة بصورة بربرة القياسية وعند قيم مختلفة لقيمة العتبة

يتبين من الجدول (1)، أنه في المستوى الأول من تنفيذ الخوارزمية عند القيمة الابتدائية لقيمة العتبة كانت قيمة (σ_{rms}) عالية جداً مما يدل على وجود فرق كبير بين الصورة الأصلية والصورة المسترجعة، بينما في المستوى الثاني والمستويات التي تليه فإن هذه القيمة تقل بينما تزداد قيمة (PSNR) التي تمثل جودة استرجاع الصورة كلما تم اقتراب وضوح الصور المسترجعة بحيث تكون قريبة من الصورة الأصلية . وهذا يكون واضحاً من خلال المستوى الرابع الذي يكون فيه مقياس جودة استرجاع الصورة قليلاً ومعدل نسبة الكبس للصورة جيداً ، فضلاً عن أن نسبة الكبس تكون أفضل في المستويين الخامس والسادس ولكن بما أنه في المستوى الرابع تم الحصول على جودة استرجاع عالية للصورة المسترجعة ونسبة كبس جيدة فإنه ممكن التوقف عن تنفيذ الخوارزمية إلى المستوى المذكور .

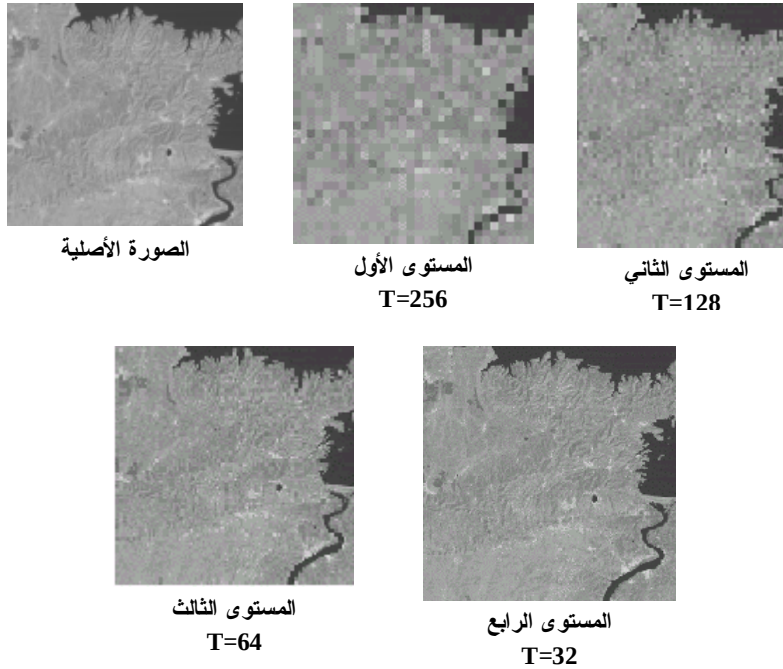
تطبيق خوارزمية (EZW) على الصور الفضائية

بعد أن تم الحصول على جودة استرجاع بصورة بربرة القياسية عند تطبيق الخوارزمية المعتمدة في هذا البحث وبنسبة كبس جيدة ولعدة مستويات لقيمة العتبة ، فقد تم تطبيق خوارزمية الـ (EZW) على نوعين من الصور الفضائية لكل منهما ظواهر وتغيرات أرضية مختلفة . إذ مثلت الصورة الأولى منطقة سد الموصل كما مبين في الشكل (4)، والتي امتازت بتغيرات أرضية بسيطة ومحددة متمثلة بالمسطح الحالي للبحيرة واليابسة المحيطة بها ، وهي واقعة في

الحزمة الرابعة من حزم TM ولها أبعاد (512×512) نقاط صورية وهي من نوع (tiff)، بينما مثلت الصورة الفضائية الثانية منطقة سنجار كما مبين في الشكل (5)، التي امتازت بظواهر وتغيرات أرضية متعددة المتمثلة بجبل سنجار والمناطق المحيطة به إذ لها خصائص شكلية ذات طبيعة متباينة، وواقعة ضمن الحزمة الخامسة من حزم TM ولها نفس أبعاد ومواصفات الصورة الأولى. وبعد إجراء عملية الكبس على الصورة الفضائية لمنطقة سد الموصل بتطبيق خوارزمية الـ (EZW) كانت الصورة المسترجعة قريبة من الصورة الأصلية منذ المستوى الثالث لقيمة العتبة (T=64)، لاحظ الشكل (4).

تم حساب مقياس جودة الصورة المسترجعة لصورة سد الموصل وكانت قيم مقياس جودة الصورة المسترجعة مبينة بالجدول (2).

يتضح من الجدول المذكور أنفاً أن أفضل جودة استرجاع للصورة بدأت منذ المستوى الثالث لقيمة العتبة (T=64) عند نسبة كبس جيدة. كما أن قيمة الـ (rms) كانت قليلة نسبة إلى المستويين الأول والثاني مما يدل على وضوح الصورة المسترجعة.



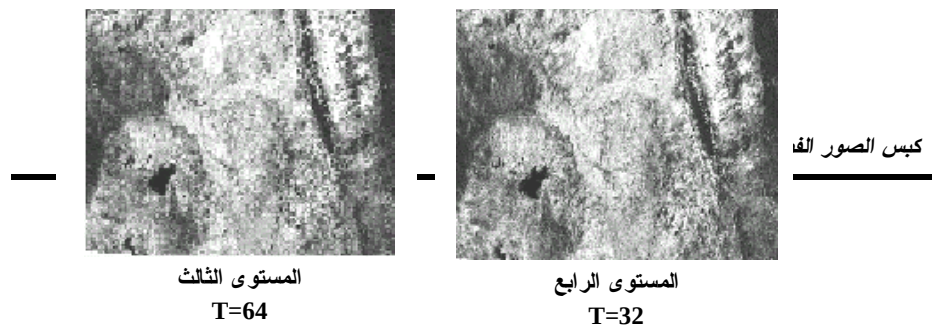
الشكل (4)

صور منطقة سد الموصل المسترجعة الناتجة من تطبيق خوارزمية EZW

Threshold value	CR	ϵ_{rms}	PSNR
256	85.6933 :1	68.6094	29.7670
128	81.9824 :1	27.4844	33.7399
64	74.990 :1	20.6953	34.9721
32	61.7371 :1	9.7969	38.2199
16	28.9490 :1	7.0766	39.1674
8	14.1907 :1	7.0774	39.1677

الجدول (2)

مقياس جودة الصور المسترجعة لصورة سد الموصل وعند قيم مختلفة لقيمة العتبة
بينما عند إجراء عملية الكبس على الصورة الفضائية لمنطقة سنجار وبتطبيق
الخوارزمية المعتمدة في البحث كانت الصورة المسترجعة واضحة المعالم وقريبة من الصورة
الأصلية منذ المستوى الرابع لقيمة العتبة ($T=32$)، لاحظ الشكل (5) .



الشكل (5)

صور منطقة سنجار المسترجعة الناتجة من تطبيق خوارزمية EZW

إذ كانت قيم مقياس جودة الصورة المسترجعة لصورة منطقة سنجار مبينة في الجدول (3):

Threshold value	CR	ϵ_{rms}	PSNR
256	89.4287 :1	436.1035	21.7349
128	81.7138 :1	300.4785	23.3527
64	75.0732 :1	41.9824	31.2531
32	62.5396 :1	24.2366	34.2861
16	37.5 :1	16.033	36.0071
8	12.5092 :1	16.0001	36.002

الجدول (3)

مقياس جودة الصورة المسترجعة لصورة منطقة سنجار وعند قيم مختلفة لقيمة العتبة

إذ كانت جودة استرجاع الصورة عالية منذ المستوى الرابع لقيمة العتبة (T=32) وبنسبة كبس (CR=62.5396:1) ويتضح ذلك من خلال قيمة ϵ_{rms} القليلة نسبةً إلى قيمتها العالية في المستوى الأول الذي كانت فيه الصورة المسترجعة رديئة جداً وغير مطابقة أو قريبة من الصورة الأصلية عند القيمة الابتدائية لقيمة العتبة .

الاستنتاجات

أظهرت عملية كبس الصور باستخدام خوارزمية الـ (EZW) فعالية عالية في الوصول إلى صورة مسترجعة واضحة المعالم وبنسبة كبس جيدة اعتماداً على قيمة العتبة المنتخبة، إذ أن تطبيق تقنية التحويل المويجي المقطع ذي البعدين وهو أحد أهم أنواع التحويلات المويجية التي تستخدم في معالجة البيانات الصورية ساعد في إعطاء كفاءة مميزة لهذه الخوارزمية وذلك من خلال ميزته في التحليل المتعدد التفاصيل للصورة إلى عدة مستويات وإلى عدد من الحزم الفرعية، مما سهل عملية كبس وتشفير الصورة بهذه الخوارزمية .

اختلفت جودة استرجاع الصورة بعد عملية الكبس بهذه الخوارزمية بحسب نوعية الصور، إذ تبين في صورة بر بارة القياسية عند المستوى الرابع لقيمة العتبة (٣٢) أنه تم

استرجاع صورة واضحة المعالم وبجودة عالية وعند نسبة كبس (1:63.0859). في حين أن الصورة المسترجعة لمنطقة سد الموصل كانت ذات جودة عالية عند المستوى الثالث لقيمة العتبة (٦٤) وبنسبة كبس (1:74.990)، بينما كانت صورة منطقة سنجار المسترجعة ذات جودة عالية في المستوى الرابع لقيمة العتبة (٣٢) وبنسبة كبس (1:62.5396). إذ تبين إن تطبيق الخوارزمية على نوعية صور فضائية بسيطة المعالم ذات تغيرات أرضية محددة أكفأ من النوع الآخر الذي تكون فيه الصورة الفضائية متعددة الأصناف.

من الممكن التوقف عن تنفيذ الخوارزمية عند أي مستوى تم فيه الوصول إلى صورة واضحة المعالم وبجودة استرجاع عالية وبنسبة كبس جيدة دون الاستمرار إلى النهاية ،مما يوفر مساحة خزن في الذاكرة لملف الصورة المسترجعة وكذلك قلة الوقت اللازم للتنفيذ.

المصادر

- [1] Acheroy, M. and Mangen, M. J. (1995) Progressive wavelet algorithm, versus JPEG for the compression of METOSAT data. SPIE ,Vol.2564 , pp. 64-75.
- [2] AL-Regib, Ghassan (2000) "Embedded zerotree wavelet encoding based on Shapiro paper", **ECE/Georgia Tech**, Atlanta ,GA ,<http://users.ece.gatech.edu/gregib>
- [3] AL-Sulaivany , Adnan. Ismail. (1998) "Digital image compression using wavelet transform", M Sc. Thesis, **college of engineering**, University of Mosul,84P.
- [4] Areepongsa, S.; N. Kaewkamnerd , F. Y .Syed, and K.R. Rao, (2004) "Wavelet Based Compression for Image Retrieval System", USA:TX, **University of Texas At Arlington** , Box 19016, <http://www.citeseer.ist.psu.edu/419251.html>
- [5] Brown ,C. Shepherd and J. Barry (1995) **Graphics file format reference and guide** ,maning publications Co.
- [6] Fry, W. Thomas. and Hauck, Scotte (2002) "Hyper spectral image compression on reconfigurable platforms", **10nth annual IEEE Symposiumon** .
- [7] Gonzales ,Rafael. C. and R. E. Woodes, (2002) **Digital image processing. 2nd Edition**, publisher, prentice –Hall, Inc, 793 P.
- [8] Shapiro, M. J.(1993) "Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficients", **IEEE ,Trans. Signal Processing** ,Vol.41 , No.12 , pp. 3445-3562 .
- [9] Subhasis, Saha. (2001) "Image compression from DCT to Wavelet Areview", **ACM Crossroads Student Magazin**.www.acm.org /crossroads /xrds6-3/sahaimgcoding.html
- [10] Tan, Chooli. (2001) **Still image compression using wavelet transform**, School of information technology and electronically engineering, university of Queensland, 19th October, 50P.

- [11] Umbaugh, Scott E. (1998) **Computer vision and image processing Apractical approach using CVIP tools**, Prentice Hall PTR, Inc., 504P.
- [12] Valens, C. (2004) “Embedded zerotree wavelets encoding”, http://www.techonline.com/community/ed_resource/tech_paper/22463.
- [13] Xiong, Z.; Ramchandran, K. Ramchandran, and T. Michael. (1997) “Space frequency quantization for wavelet image coding”, **IEEE, Trans, Image Processing**, Vol.6, No.5, pp. 677-693.