خوارزمية فعالة لترتيب عينات الصورة ثنائية البعد على هيئة سلسلة أحادية البعد[1]

المهندس أبو عبيدة محمد الحسن الأمين[2] الأستاذ الدكتور حسن أبو النور[3]

الدكتور المهندس محمد رفية [4]

الملخص

تطورت نظم معالجة الإشارة Signal Processing Systems تطوراً ملحوظاً وسريعاً، وأتى هذا التطور نتيجة لتوافر تقانات حديثة للنظم الإلكترونية من جهة، ونتيجة لتحقيق خوارزميات حساب متقنة وفعالة لمعالجة الإشارة من جهة أخرى.

من أهم تطبيقات معالجة الإشارة، هي تقانات معالجة الصور Image Processing. وتعد عملية الاعتيان Sampling من العمليات الأساسية والمهمة في معالجة الإشارة التي نحصل منها على عينات يمكن أن تمثل الصورة الأساسية بشكل مثالي.

نقدم في هذه المقالة خوارزمية فعالة لترتيب العينات أحادية البعد من الصور ثنائية البعد، تمكّننا من الحصول على سلسلة عينات تتميز بقدرتها على تمثيل الصور من حيث البنية العامة ومن حيث الحفاظ على الترابط الجواري لنقاط الصورة من جهة، والسماح بإجراء معالجات لاحقة بكلفة حسابية أقل من جهة أخرى.

[1] أُعِد البحث في سياق رسالة الدكتوراه للطالب أبو عبيدة محمد الحسن الأمين بإشراف الدكتور الأستاذ حسن أبو النور.

[2] قسم حاسبات وتحكم- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

[3] كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

[4] كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

تسمح دراسة كثافة الاستطاعة الطيفية لهذه السلسلة بإظهار أن هذه الخوارزمية تحافظ على خصائص تابع كثافة الاستطاعة الطيفية في ظروف أوضاع مختلفة للصورة (تغيير المقياس، والدوران، وتغيير شدة الإضاءة، والتداخل الناتج عن الضجيج).

أجري العديد من الاختبارات وتم الحصول على نتائج مميزة توضح فعالية خوارزميـة أخـذ العينات أحادية البعد المقترحة.

كلمات مفتاحيـة: معالجـة الإشـارة Signal Processing، معالجـة الـصور Image Processing، الرؤية الحاسوبية Computer Vision.

1- مقدمة:

تطورت حالياً نظم معالجة الإشارة Signal Processing Systems تطـوراً سـريعاً أسهم فيه منحنيان مهمان، الأول توافر تقانات معالجة حديثة للإشارات ساعدت علـى بناء وتحقيق كثير من نظم معالجة معقّدة وسريعة بما فيها تلك التي تعمل في الـزمن الحقيقي Real-Time، والثاني استثمار خوارزميات معالجة إشارة متّقنة وفعالة [1].

تتضمن معالجة الإشارة جميع العمليات التي تطبق على الإشـارة بغيـة اسـتخلاص المعلومات المفيدة من مجموع معلومات مفيدة وغير مفيدة. وتسبق معالجـة الإشـارة عادة مجموعة عمليات ندعوها معالجة أولية للإشارة Signal Preprocessing الهدف منها تقليل الأجزاء المحددة Deterministic Parts أو إزالتها من الإشارة التـي تتبـع بشكل عام علاقات تحليلية ثابتة وتعد بمنزلة اتجاهية ما لهذه الإشارة Trends. تمثـل الاتجاهية عادة معلومات غير مفيدة تجب إزالتها باستخدام خوارزميات خاصة لإزالة الاتجاهية Trends Removal تسهم بشكل فعال في تسهيل عمليات المعالجة اللاحقـة ومن ثَم تقليل الكلفة الحسابية وزمن المعالجة المطلوب[2]. وتعـد عمليـات الترشـيح الأولي وخوارزميات التعتيب وخوارزميات أخذ العينات من عمليات المعالجة الأوليـة ذات الأهمية العالية.

تكتسب عمليات معالجة الإشارة أهميتها أيضاً من تنوع تطبيقاتها العملية التي شـملت مجالات عدة، نخص منها التطبيقات الطبية وتطبيقـات نظـم الاتـصالات المرئيـة وتطبيقات نظم الاستشعار عن بعد...وهي عادة تُعنـى بتطبيقـات معالجـة الإشـارة المختصة بمعالجة الـصور Image Processing [3]. تُمثل عادة الصور Images مـن خلال تابع ثنائي البعد F(x, y) لإضاءة نقاط الصورة ولونها Color and Brightness Pixels بدلالة الإحداثيات الحيزية Spatial Coordinates x, y، أي تمثل بمـصفوفة ثنائية البعد يحدد دليلا صفها وعمودها مكان النقطة في الصورة[4]. كما يمكن تمثيـل

الصور في تطبيقات عديدة من خلال تابع أحادي البعد للإضاءة واللون؛ وذلك على هيئة سلسلة متتابعة تمسح صفوف الصورة أو أعمدتها بشكل متسلسل.

يعد التمثيل الأول ثنائي البعد الأكثر استخداماً في التطبيقات المختلفة نظراً لمحافظته على الترابط فيما بين نقاط الصورة (لنقاط المتجاورة) غير أنه يتطلب خوارزميات معالجة إشارة ذات تعقيد كبير نسبياً مثل المرشحات ثنائية البعد، تحويل فوريه ثنائي البعد، الترابط الذاتي والمتعارض بنوافذ حيزية... والتي تُسبب عادة زيادة في الكلفة الحسابية[5]. كما يؤدي التمثيل أحادي البعد الذي يتطلب خوارزميات معالجة إشارة ذات تعقيد بسيط وكلفة حسابية أقل في الحصول على أخطاء كبيرة وضياع للمعلومات المفيدة الموجودة في الصورة لأن هذا التمثيل يؤدي إلى تفكيك الارتباط الجواري أو الحيزي لنقاط الصورة على مستوى الصف أو العامود.

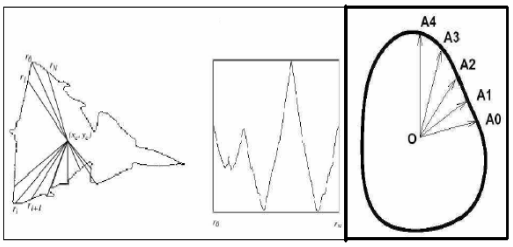
نقدم في هذه المقالة خوارزمية حديثة فعالة لتمثيل مصفوفات الصور الرقمية ثنائية البعد وفق سلسلة أحادية البعد تشكل خوارزمية ترتيب عينات، تعطي ميزات معالجة أولية للصورة تسهل عمليات معالجة الإشارة اللاحقة من جهة، وتحافظ من جهة أخرى على الترابط الحيزي ثنائي البعد فيما بين نقاط الصورة. كما تقدم هذه الخوارزمية أيضاً تماسكاً Consistency للمعلومات المفيدة الموجودة في الصورة حتى بوجود أوضاع مختلفة للصورة من حيث تغير المقياس (كبر الصورة أو صغرها) أو تغير توجيه الصورة (دوران الصورة) أو تغيير شدة إضاءة الصورة أو مرافقة الصورة لإشارات ضجيجية والتي تُعد عادة من المشاكل الأساسية في عمليات معالجة الصور.

2 – **الدراسات المرجعية:**

أُجريت كثير من البحوث ذات الصلة بالتعامل مع عينات الصور ثنائية البعد بهدف التعرف على الأشكال في الصور، وقد نُفِّذَتْ دراسات تحليلية واختبارات عملية للعديد من هذه التقانات المستخدمة وثبتت نتائج التحليل والتقويم والتصنيف لهذه التقانات

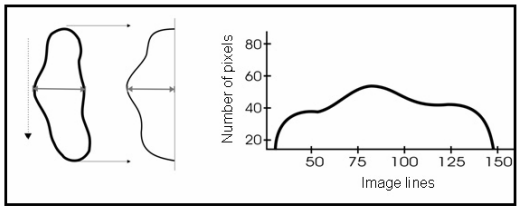
وخوارزمياتها المستخدمة فيها في مقال خاص بذلك[6].أما بالنسبة لمسألة التعامل مع عناصر الصورة على هيئة سلسلة أحادية البعد فقد وجدنا خلال الدراسات المرجعية عدداً من الطرائق المستخدمة ونخص منها [7][8]. وقد اعتمدت هذه الطرائق بشكل عام على ترميز خصائص الشكل الموضعية، مثل طرائق وصف كنتور الشكل والتي تعتمد طرائق المسافة من المركز إلى نقاط حدود الشكل، وحساب المسافة والزاوية بحيث إما أن تكون المسافات متساوية، أو تكون زاوية المركز إلى النقاط المختارة زاوية ثابتة [7] كما توضح الأشكال (1) و(2).

أو طرائق الإسقاط التي تحسب نقاط الصورة ثنائية البعد، وتوليد الهيستوغرام من هذه النقاط والوصول لبصمة الشكل من الإسقاط الأفقي لنقاط الهيستوغرام [8] كما يوضح الشكل (3). وطرائق سلاسل الرموز والتي تُرمز حدود الشكل بشكل متعاقب وبطول واتجاه محددين [7] كما توضح الأشكال (4) و(5). وكل هذه الطرائق لها كثير من التعقيدات في طول السلسلة وحساسيتها للتشويش فضلاً عن التجزيء غير المثالي للشكل.

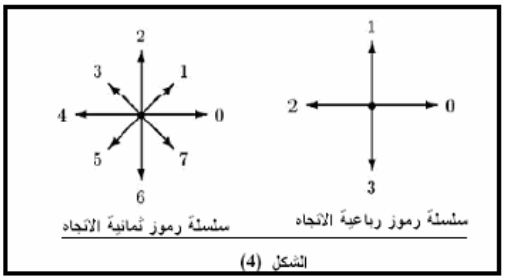


الشكل (1)

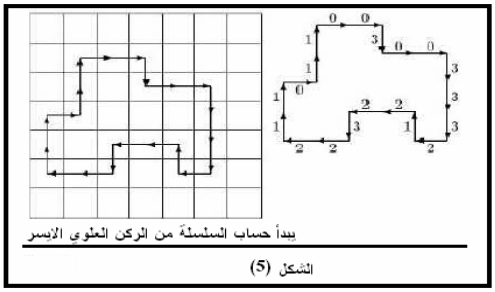
الشكل (2)



الشكل (3)



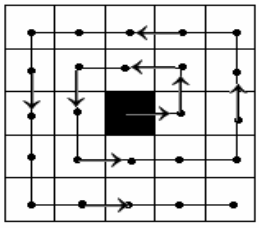
الشكل (4)



الشكل (5)

3 - الخوارزمية المقترحة:

تُرتب وفق الخوارزمية المقترحة عينات الصورة على شكل تابع أحادي البعـد مـن عينات مصفوفة الصورة ثنائية البعد N*N وفق سلسلة ذات طول كليN^2، وذلك مـن خلال أخذ عينات الصورة بشكل متتابع من عينات متسلسلة لإطارات مربعة متزايـدة في عدد نقاط الإطار بدءاً من نقطة مركز ثقل الصورة (c_x ,c_y) كما هو موضح فـي الشكل رقم (6) الذي يمثل أخذ عينات صورة بأبعاد 5*5 .



الشكل (6)

من الشكل (5) يتضح أن مواقع نقاط الإطار الأول تُحسب ابتداء من مركز الثقل كالآتي:

$$(C_x+1 , C_y) , (C_x+1 , C_y-1) , (C_x , C_y - 1) , (C_x - 1 , C_y - 1)$$

$$(C_x-1 , C_y) , (C_x- 1 , C_y+1) , (C_x , C_y + 1) , (C_x + 1 , C_y + 1)$$

وتستمر عملية ترتيب النقاط للإطارات الأخرى على هذا المنوال.

يلاحظ أنه بتطبيق هذه الخوارزمية فإن كل من الإطارات التي تمثل كامل الصورة (أو مجموعة متتابعة منها) تتضمن المعلومات المفيدة عن الشكل العام للصورة، كما أن الترابط الحيزي ثنائي البعد لمصفوفة الصورة ظهر هنا في عينات السلاسل الجزئية للإطارات المتجاورة.

4 - تحليل الخوارزمية:

تُرتب عينات مصفوفة الصورة وفق إطارات متزايدة في الضلع بمقدار نقطة واحدة (Pixel) على يمين نقطة مركز الثقل اللوني للصورة ويسارها؛ وذلك بشكل دوري ابتداء من مركز الثقل مروراً بنقاط الإطار الأول جميعها، ثم الانتقال إلى الإطار الثاني للمرور بنقاطه جميعها، وهكذا حتى الإطار الأخير للشكل الموجود في الصورة. بفرض k نصف ضلع إطار التقطيع فإن القيمة الصغرى لها تساوي الصفر والقيمة العظمى لها تساوي N/2 حيث N تمثل بعد مصفوفة الصورة المربعة.

وفقاً للشكل (6) فإن عدد عينات الإطار يمكن حسابها وفق الجدول (1) الآتي:

رقم الإطار k	عدد عينات الإطار N_k	عدد العينات الكلي N^T_k
1	8	8
2	16	24
3	24	48
4	32	80
5	40	120
6	48	168
7	56	224
.	.	.
k	8k	$4k^2+4k$

جدول (1)

نلاحظ أن N_k عدد العينات الكلي للإطار k يعطى بالسلسلة:

$$N_k = 8k \qquad (1)$$

وأن N^T_k عدد العينات الكلي للإطارات جميعها بنهاية الإطار k يعطى بالسلسلة:

$$N^T_k = 4k^2 + 4k \qquad (2)$$

وأن العينة m في سلسلة التقطيع الكلية التابعة للإطار k لها ترتيب n ضمن عينـات هذا الإطار يعطى بالعلاقة:

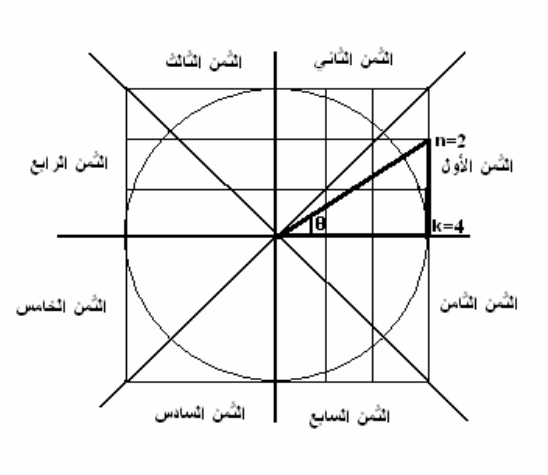
$$n = m-[4(k-1)^2 +4(k-1)]$$

أي:

$$n = m - 4k^2 + 4k \qquad (3)$$

إذا أخذنا نقطة ما من الإطار k فإننا نلاحظ أن هذه النقطة تُحدد من تقاطع مستقيم يمر بمركز الصورة والخط العامودي ذي التابع التحليلي x=k وذلك فـي الثمنـين الأول والثامن، وتقاطع مستقيم يمر بمركز الصورة والخط العامودي ذي التابع التحليلي x=-k وذلك في الثمنين الرابع والخامس من الإطار من جهة، وبين المـستقيم المركـزي والخط الأفقي ذي التابع التحليلي y=k في الثمنين الثاني والثالث أو المستقيم المركزي

والخط الأفقي ذي التابع التحليلي y=-k في الثمنين السادس والسابع من الإطـار مـن جهة أخرى كما هو موضح في الشكل (7).



الشكل (7)

كما أن ترتيب النقطة في الضلعين العاموديين للإطـار (الثمنـين الأول والثـامن أو الثمنين الرابع والخامس) أو في الضلعين الأفقيين (الثمنين الثاني والثالث أو الثمنـين السادس والسابع) يمكن تحديده من تحديد زاوية هذا المستقيم المركزي ضمن كل مـن الأثمان الثمانية والتي يمكن تحديدها من ترتيب النقطة المعتبرة في مصفوفة الـصورة المربعة.

بفرض أن n يمثل ترتيب النقطة في ضلع الإطار ذي الترتيب k فإنه يمكن حساب **θ** زاوية المستقيم المركزي المناسب لهذه النقطة من العلاقة:

$$\theta = - [45-(360/8k)] + [360 (n-1)] / 8k \qquad (4)$$

وأن طول وتر المثلث قائم الزاوية المبين في الشكل بين النقطة n من ضلع الإطار ومركز الصورة يمكن أن يحسب وفق ما يأتي:

$$kk = k / (1-scb^2)^{1/2} \qquad (5)$$

حيث:

scb=Sin(θ) في الثمن الأول n/k<=1/8 ، **θ <= 45°**

scb=Sin(90° -θ) في الثمن الثاني 1/8 < n/k<=2/8 ، **45° < θ <= 90°**

scb=Sin(θ-90°) في الثمن الثالث 2/8 < n/k<=3/8 ، **90° < θ <= 135°**

scb=Sin(180° -θ) في الثمن الرابع 3/8 < n/k<=4/8 ، **135° < <= 180°**

scb=Sin(θ-180°) في الثمن الخامس 4/8 < n/k<=5/8 ، **180° < θ <= 235°**

scb=Sin(270° -θ) في الثمن السادس 5/8 < n/k<=6/8 ، **235° < θ <= 270°**

scb=Sin(θ-270°) في الثمن السابع 6/8 < n/k<=7/8 ، **270° < θ <= 315°**

scb=Sin(360° -θ) في الثمن الثامن 7/8 < n/k<=8/8 ، **315° < θ <= 360°**

ومن ثَم فإن :

$$x = kk*Sin(\theta) \qquad (6)$$
$$y = kk*Cos(\theta) \qquad (7)$$

وفقاً لما سبق ومن العلاقات (3, 4, 5, 6, 7) يمكن حساب الإحداثيات x , y في الصف والعامود من مصفوفة الصورة الأساسية لأي نقطة m من سلسلة التقطيع.

5 - اختبار الخوارزمية:

تهدف عملية اختبار الخوارزمية إلى التحقق من كون سلسلة الترتيب أحادية البعد التي حصلنا عليها تتضمن تعريفاً كاملاً عن مضمون الصورة الأصلية من ناحية بنية الشكل الداخلي للصورة ومكونات هذه البنية. فضلاً عن أن هذه الخوارزمية تتضمن هذا التعريف الكامل للصورة بعض النظر عن المقياس أو دوران اتجاه الصورة.

استخدمت لإجراء الاختبارات مجموعة من الصور الاختبارية ذات أشكال هندسية بسيطة أو معقدة. كما استخدمت خوارزمية تحديد عتبة حديثة [9] New Thresholding Algorithm لإجراء تعتيب للصور المستخدمة قبل البدء بمعالجتها وذلك للحصول على صور بلونين فقط إضافة إلى خوارزمية خاصة لتوضيع مركز الثقل اللوني للصورة المعتبة في مركز صورة الاختبار.

يحدد مستوى التعتيب وتُجرى عملية التعتيب لصور الاختبار كعملية تتضمن اختبارات محددة على الصورة مقابل تابع ما T من الشكل الآتي [10] [11]:

$$T=T\,[x,y,\ P(x,y),\ f(x,y)]$$

حيث:

f(x,y) هي السوية اللونية للنقطة (x,y) من الصورة.

P(x,y) تشير إلى خاصة موضعية ما للنقطة مثلاً متوسط السويات اللونية بجوار يقع مركزه في (x,y).

ويمكن تكوين صورة معتبة g(x,y) كالآتي:

$$g(x,y) = 1 \quad \text{إذا كانت } f(x,y) >= T$$

$$g(x,y) = 0 \quad \text{إذا كانت } f(x,y) < T$$

حيث 0,1 تمثل اللونين المستخدمين للتعتيب

بتفحص g(x,y) نجد أن جميع العناصر ذات القيمة 1 تابعة لما نسميه بالشكل الأساسي لمحتويات الصورة، في حين أن جميع العناصر ذات القيمة 0 تتبع عادة لما نسميه بخلفية الصورة التي لا تحمل معلومات مفيدة عن مضمونها في كثير من التطبيقات.

كما استخدم في الاختبارات حساب تابع كثافة الاستطاعة الطيفية لسلسلة التقطيع أحادية البعد للصورة كإحدى عمليات معالجة الإشارة المهمة التي يمكن أن تُجرى على هذه السلسلة.

يحسب تابع كثافة الاستطاعة الطيفية انطلاقاً من حساب تحويل فورييه أحادي البعد وفق ما يأتي:

$$F(p) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} f(n)\exp[-j2\pi\ n\ p/N]$$

يحسب الجزء الحقيقي والجزء التخيلي لطيف فورييه للسلسلة كالآتي:

$$X[\,p\,] = \sum_{n=1}^{N} f(n)\cos\ 2\pi(n-1)(\,p-1)/N$$

$$Y[P] = \sum_{n=1}^{N} f(n) \sin 2\pi(n-1)(p-1)/N$$

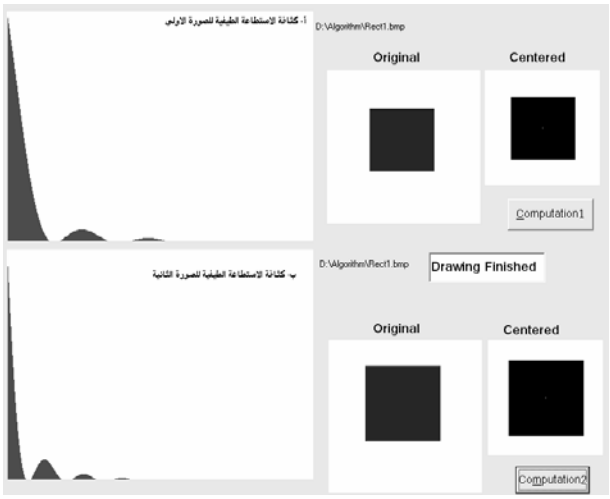
حيث *X(p)* و *Y(p)* تمثلان الحد العام لسلسلتي القسم الحقيقي والقسم التخيلي لتحويل فورييه للإشارة *f(n)* . كما أن مجموع مربعي هاتين القيمتين يمثلان الحد العام لتابع كثافة الاستطاعة الطيفية للإشارة أي:

$$S[p] = X[p]^2 + Y[p]^2$$

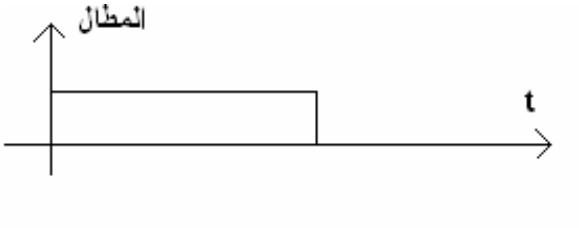
اِستُخْدِمتْ مجموعة صور تمثل الأشكال الهندسية الأساسية (مربع، مثلث، ودائرة)، بالإضافة إلى أشكال مركبة من الأشكال الهندسية البسيطة، ثم غُيرتْ قياسات الأشكال الهندسية Scaling، ودورتِ الأشكال المركبة بزوايا محدده Rotation، و غُيرتْ قيم نصوع الصورBrightness، وتأثير الضجيج Noise Effect، واستُخْدِمتْ خوارزمية التقطيع المقترحة على هذه الأشكال ودرس تابع كثافة الاستطاعة الطيفية لسلسلة التقطيع وقُورِنَتْ حالات تغير هذا التابع وفقاً لتغير مضمون الصورة وكيف أن شكل تابع كثافة الاستطاعة الطيفية يدل بوضوح كبير على مضمون الصورة حتى في حال خضوع الصورة لحالات تغير واضحة كالدوران، وتعديل المقياس، وتغير الإضاءة، أو في حال وجود إشارات غير مرغوب فيها مرافقة كالضجيج.

ثُبتت نتائج الاختبارات وفق ما يأتي، علماً بأنه تم صممتْ ونُفذَتْ حزمة برمجية خاصة لإجراء الاختبارات على الصور المنتخبة، تؤمن تنفيذ خوارزمية التعتيب والتقطيع وحساب تابع كثافة الاستطاعة الطيفية، فضلاً عن إظهار النتائج رقمياً وبشكل بياني.

5 - 1 شكل المربع: طُبقَتِ الخوارزمية على شكلّي مربع بأبعاد مختلفة، وكان شكل كثافة الاستطاعة الطيفية للمربع الصغير كما هو موضح بالشكل (8-أ)، وللمربع الكبير كما هو موضح بالشكل (8- ب) وهو يمثل إشارة $(\sin x / x)^2$، لأن تطبيق عملية التقطيع على شكل المربع تعطي إشارة ديراك كما يوضح الشكل (9) والذي تابع كثافة الاستطاعة الطيفية لها هو من الشكل $(\sin x / x)^2$.



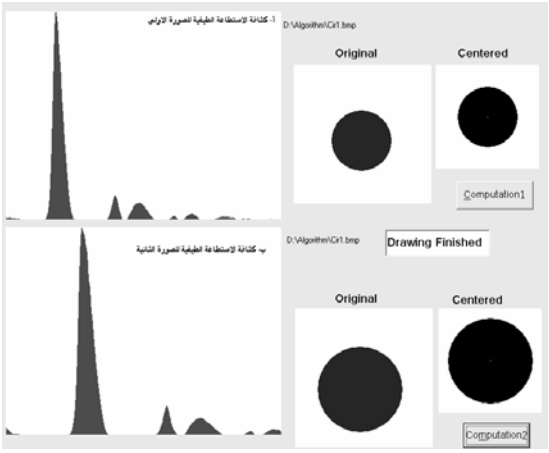
الشكل(8)



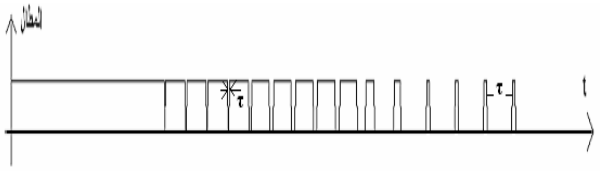
الشكل (9) نتيجة تطبيق خوارزمية التقطيع على المربع وهو يكافئ إشارة ديراك

5 - 2 شكل الدائرة:

طُبِّقَتِ الخوارزمية على شكلّي دائرة بأبعاد مختلفة، وكان شـكل كثافـة الاسـتطاعة الطيفية للدائرة الصغيرة كما هو موضح بالشكل (10-أ)، وللدائرة الكبيرة كما يوضـح الشكل (10-ب)، حيث إن تطبيق عملية التقطيع على شكل الدائرة تعطي إشارة نبضة حادة كما يوضح الشكل (11).



الشكل (10)

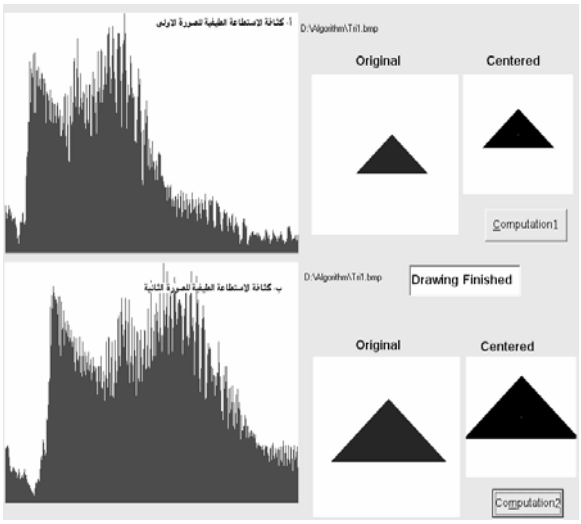


الشكل (11) نتيجة تطبيق خوارزمية التقطيع على الدائرة وهو يكافئ نبضة حادة

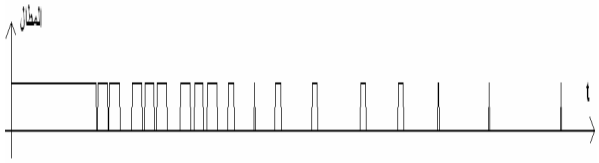
نلاحظ أنه مع تتابع النبضات يتزايد الزمن τ الفاصل بين النبضات بشكل كبير مع تغير صغير في الدور مما يعطي كثافة استطاعة طيفية بشكل نبضة ذات عرض حزمة ترددية صغيرة.

5 - 3 شكل المثلث:

طُبِّقَتِ الخوارزمية على شكلّي مثلث بأبعاد مختلفة، وكان شكل كثافة الاستطاعة الطيفية للمثلث الصغير كما موضح بالشكل (12-أ)، وللمثلث الكبير كما يوضح الشكل (12-ب)، وهو يمثل إشارة سن المنشار، حيث إن تطبيق عملية التقطيع على شكل المثلث تعطي إشارة سن المنشار كما يوضح الشكل (13).



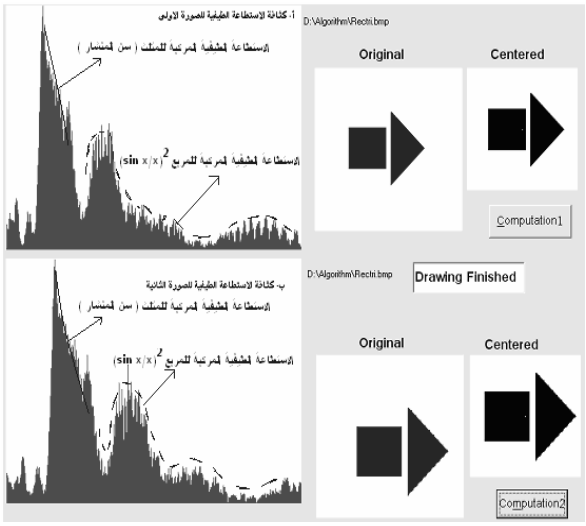
الشكل (12)



الشكل (13) نتيجة تطبيق الخوارزمية على المثلث وهو يكافئ نبضة سن المنشار

5 - 4 شكل مربع ومثلث :

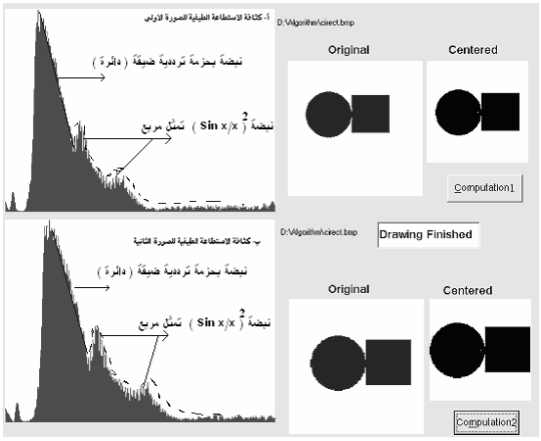
طُبِّقَتِ الخوارزمية على شكلّي مربع ومثلث متجاورين وبأبعاد مختلفة ،وكـان شـكل كثافة الاستطاعة الطيفية للشكلين الصغيرين كما موضح بالـشكل (14-أ)، وللـشكلين الأكبر كما موضح بالشكل (14-ب) والذي تابع كثافة الاستطاعة الطيفية لهما يمثـل إشارتي $(\sin x / x)^2$ وسن المنشار متداخلتين.



الشكل (14)

5 - 5 شكل مربع ودائرة:

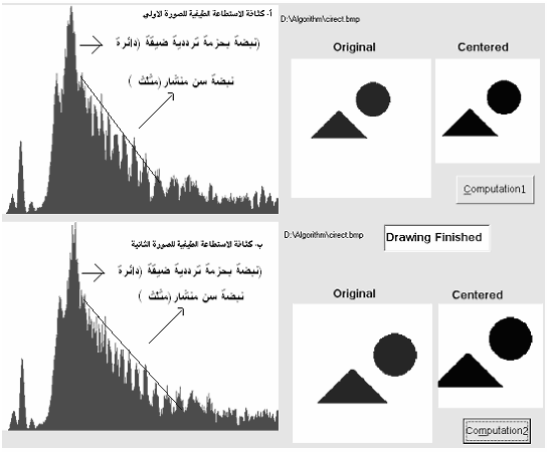
طُبِّقَتِ الخوارزمية على شكلّي مربع ودائرة متجاورين وبأبعاد مختلفة ،وكـان شـكل كثافة الاستطاعة الطيفية للشكلين الصغيرين كما موضح بالـشكل (15-أ)، وللـشكلين الأكبر كما موضح بالشكل (15-ب) والذي تابع كثافة الاستطاعة الطيفية لهما يمثـل إشارتي $(\sin x / x)^2$ و نبضة حادة متداخلتين.



الشكل (15)

5 - 6 شكل دائرة ومثلث:

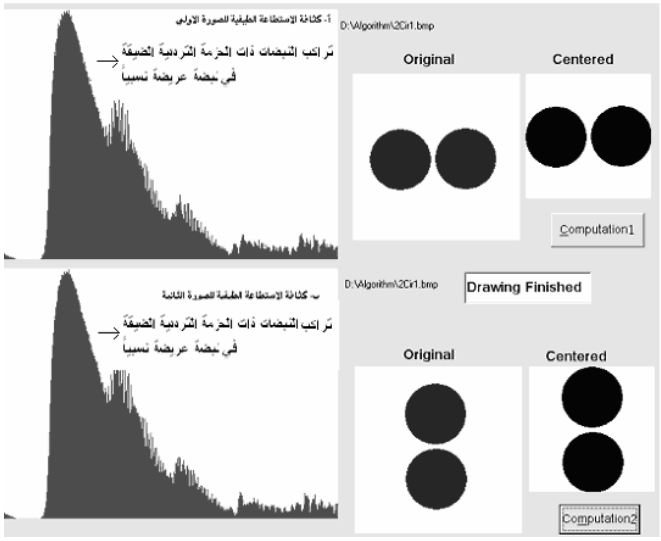
طُبِّقَتِ الخوارزمية على شكلّي دائرة ومثلث متجاورين وبأبعاد مختلفة ،وكـان شـكل كثافة الاستطاعة الطيفية للشكلين الصغيرين كما موضح بالشكل (16-أ)، وللـشكلين الأكبر كما موضح بالشكل (16-ب) والذي تابع كثافة الاستطاعة الطيفية لهما يمثـل إشارتي نبضة حادة وسن المنشار متداخلتين.



الشكل (16)

5 - 7 شكل دائرتين:

طُبِّقَتِ الخوارزمية على شكلّي دائرتين متجاورتين بأبعاد متساوية ولهما محور شاقولي واحد، والتدوير بزاوية مقدارها 90درجة، وكان شكل الاستطاعة الطيفيـة للـدائرتين الأفقيتين كما موضح بالشكل (17-أ)، وللدائرتين الرأسيتين كما يوضح الـشكل (17-ب)، حيث إن تطبيق عملية التقطيع على الدائرة الواحدة يمثل إشارة نبضة حادة كمـا هو موضح في الشكل (11)، وشكل كثافة الاستطاعة الطيفية الناتج هو عبـارة عـن تراكب لطيف الدائرتين في نبضة واحدة عريضة نسبياً، كما كان هناك تطابق لتـابعي الاستطاعة الطيفية في حالة دوران الشكل.

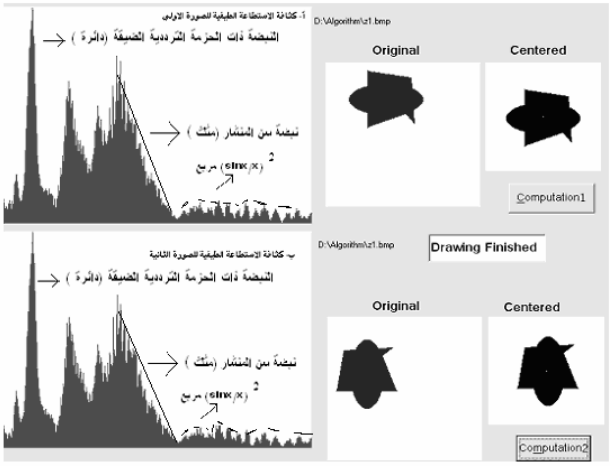


الشكل (17)

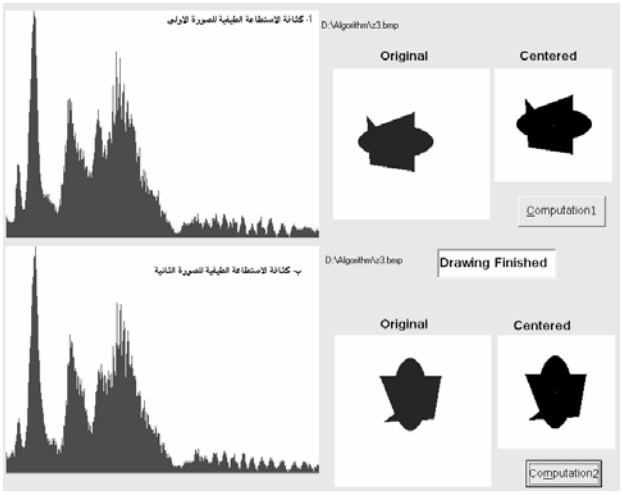
5 - 8 شكل مركب:

طُبِّقَتِ الخوارزمية على شكل مركب يبني من مجموعة الأشكال الهندسـية البـسيطة (مربع،مثلث، ودائرة)، ودور بزاوية مقدارها 90 درجة على ثلاث مرات، وكان شكل الاستطاعة الطيفية كما توضح الأشكال (18-أ-ب) و(19-أ-ب)، وتوضح هذه الأشكال

وجود مركبات كثافة الاستطاعة الطيفية للأشكال الهندسية البسيطة المكونة لهذا الشكل المركّب مع تطابق أشكال كثافة الاستطاعة الطيفية في الحالات المختلفة لدوران هـذا الجسم .



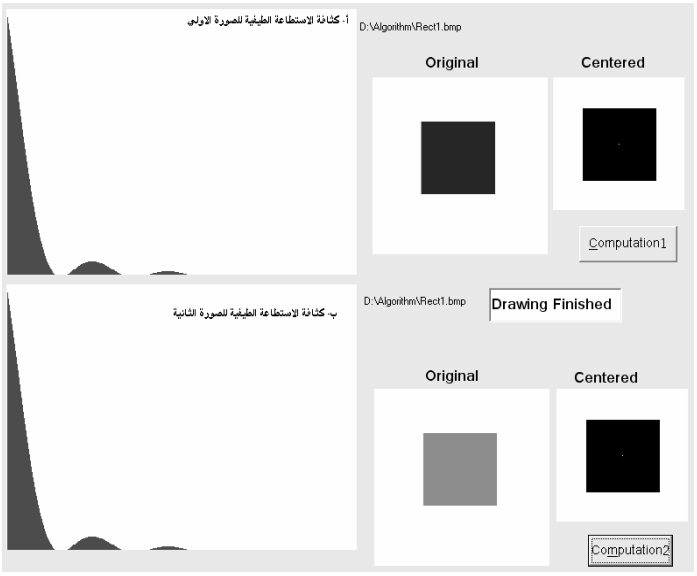
الشكل (18)



الشكل (19)

5 - 9 شكل المربع مع تغيير قيم السطوع:

الشكل (20) يوضح شكل كثافة الاستطاعة الطيفية الناتج من تطبيق الخوارزمية على شكلّي مربع بأبعاد متساوية مع تغيير قيم السطوع، ونرى شـكل كثافـة الاسـتطاعة الطيفية يعطي نتيجة متماثلة تماماً رغم تغير قيم السطوع واختلافها بين الشكلين.

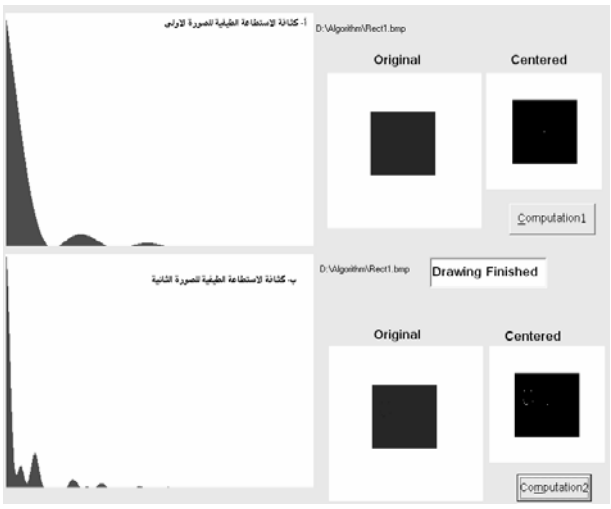


الشكل (20)

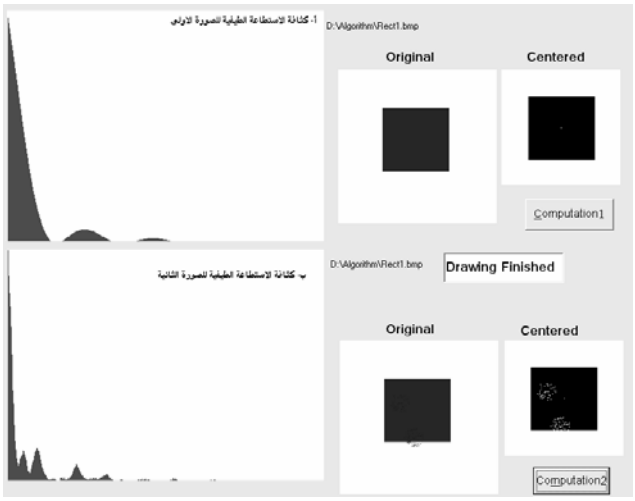
5 - 10 اختبار الخوارزمية في حالة وجود أشكال ضجيجية مرافقة:

اِخْتُبِرتِ الخوارزمية على الأشكال الهندسية الرئيسية مع وجود ضجيج، وكان شـكل كثافة الاستطاعة الطيفية لشكل المربع في وجود الضجيج كما موضح بالشكل (21-أ-ب) و(22-أ-ب)، ولشكل المثلث في وجود الضجيج كما موضح بالـشكل (23-أ-ب) و(24-أ-ب)، ولشكل الدائرة في وجود الضجيج كمـا موضـح بالـشكل (25-أ-ب) و(26-أ-ب). وقد أثبتت الأشكال التي حصلنا عليها لتابع كثافة الاسـتطاعة الطيفيـة

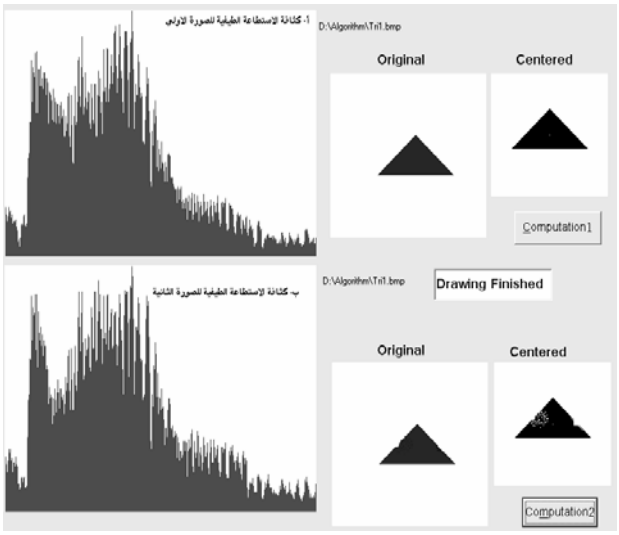
قدرة الخوارزمية وفعاليتها في الحصول على مدلول عن الشكل الأساسي رغم تـأثير الضجيج الواضح في صورة الشكل.



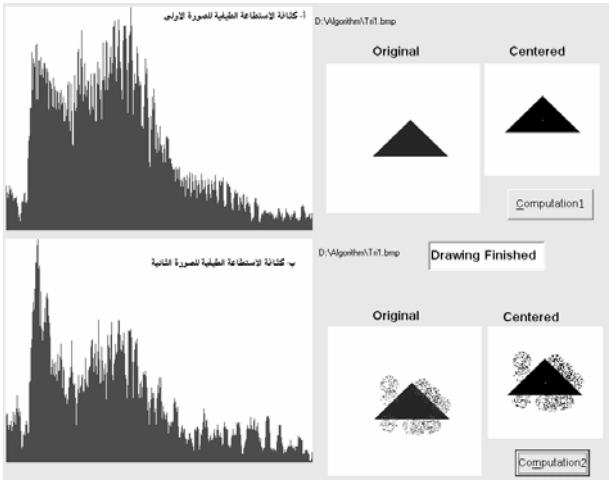
الشكل(21)



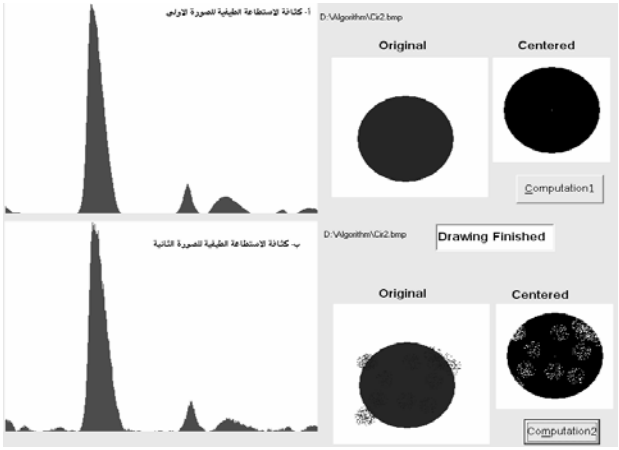
الشكل (22)



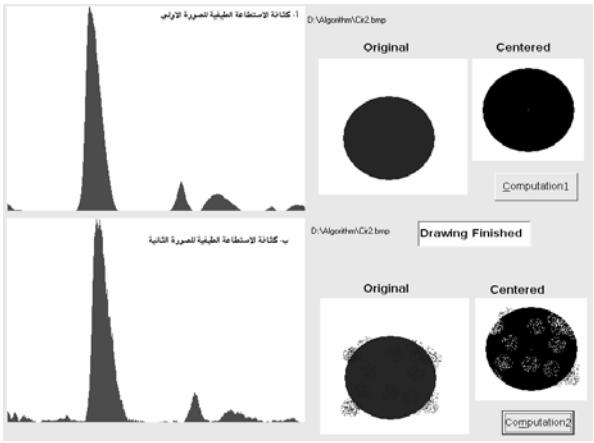
الشكل (23)



الشكل (24)



الشكل (25)



الشكل (26)

6 - دراسة كثافة الاستطاعة الطيفية ثنائية البعد ومقارنتها بأحادية البعد:

للتحقق من قوة الخوارزمية الحديثة المقترحة وفعاليتها وقدرتها على:

1- تمثيل مصفوفات الصور الرقمية ثنائية البعد وفق سلسلة أحادية البعد.

2- تشكيل خوارزمية ترتيب عينات تعطي ميزات معالجـة أوليـة للـصورة تـسهل عمليات معالجة الإشارة اللاحقة.

3- المحافظة على الترابط الحيزي ثنائي البعد فيما بين نقاط الصورة.

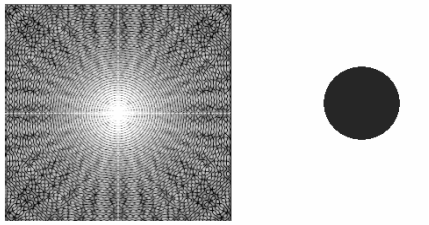
4- تقديم تماسك Consistency للمعلومات المفيدة الموجودة في الصورة حتى بوجـود أوضاع مختلفة للصورة من حيث تغير المقياس (كبر الصورة أو صغرها) أو تغيـر توجيه الصورة (دوران الصورة) أو تغيير شدة إضاءة الصورة أو مرافقـة الـصورة لإشارات ضجيجية، والتي تعد عادة من المشاكل الأساسـية فـي عمليـات معالجـة الصور.

درستْ كثافة الاستطاعة الطيفية ثنائية البعد للأشكال الهندسية الأساسية وحسِبتِ القيمة المتوسطة Mean والانحـراف المعيـاري Standard Deviation [12] وتَـم إيجـاد نسب Ratio هذه القيم لكل شكل مدروس ومقارنتها بالقيم المقابلة وفـق الخوارزميـة المقترحة، الجدول (2) يوضح قيم نسب القيمة المتوسطة والانحراف المعياري لكثافـة الاستطاعة الطيفية أحادية البعد وثنائية البعد. وقد أعطت النتائج الموضحة نسباً عاليةً للقيم أحادية البعد مما يثبت قوة الخوارزمية المقترحة وفعاليتها.

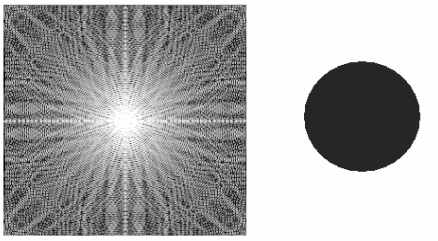
الشكل	أحادية البعد		ثنائية البعد	
	نسبة القيمة الوسطى	نسبة الانحراف المعياري	نسبة القيمة الوسطى	نسبة الانحراف المعياري
المربع الصغير	0.97	0.79	0.94	0.70
المربع الكبير				
الدائرة الصغرى	0.99	0.99	0.98	0.87
الدائرة الكبرى				
الدائرة المضجعة 1	0.99	0.99	0.96	0.87
الدائرة المضجعة2				
المثلث الصغير	0.98	0.99	0.97	0.97
المثلث الكبير				
الشكل المركب 1	0.99	0.98	0.97	0.95
الشكل المركب 2				
الشكل المركب 3	0.95	0.99	0.93	0.98
الشكل المركب 4				

الجدول (2)

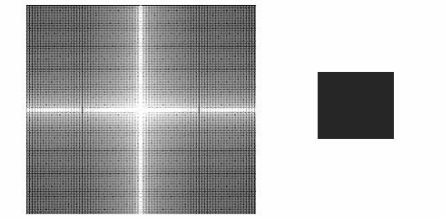
الأشكال (27-أ) حتى (27- ن) توضح كثافة الاستطاعة الطيفية ثنائية البعد للأشـكال الهندسية البسيطة والأشكال المركبة، حيث توضح الأشكال التغير الملحوظ في شـكل الاستطاعة الطيفية ثنائية البعد في حال تغير أبعاد الشكل المدروس ودورانـه وتـأثره بالضجيج مقارنة مع تغير بسيط وفق الخوارزمية المقترحة.كما أن الاستطاعة الطيفية للشكل المركب لا توضح الاستطاعة الطيفية للأشكال الهندسية البسيطة المكونة لهـذا للشكل المركب.



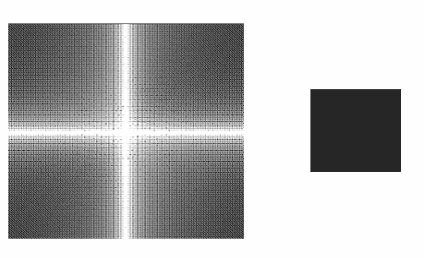
(27ـ أ) الدائرة الصغيرة والطيف ثنائي البعد لها



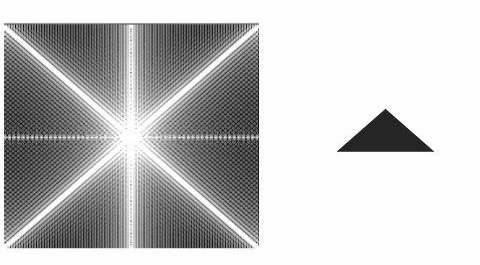
(27ـ ب) الدائرة الكبيرة والطيف ثنائي البعد لها



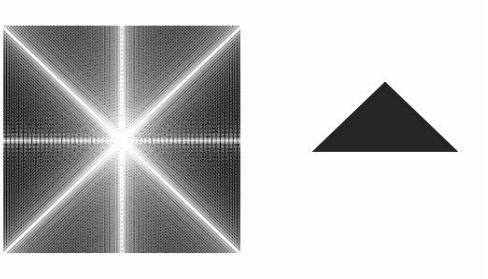
(27 ـ ج) المربع الصغير والطيف ثنائي البعد له



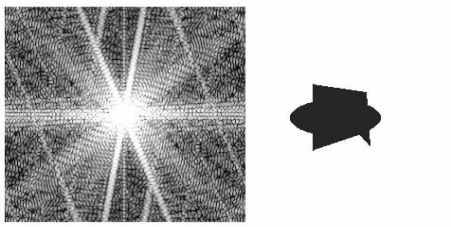
(27ـ د) المربع الكبير والطيف ثنائي البعد له



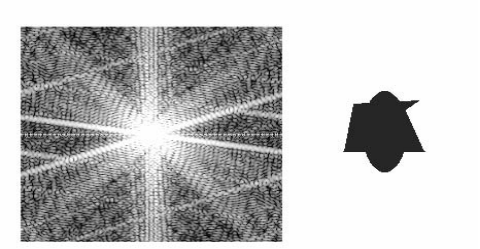
(27ـ هـ) المثلث الصغير والطيف ثنائي البعد له



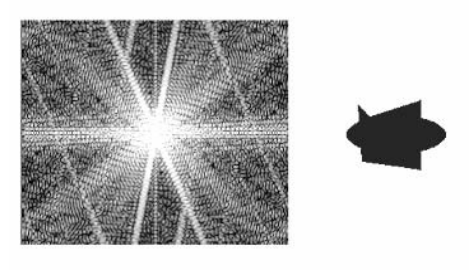
(27ـ و) المثلث الكبير والطيف ثنائي البعد له



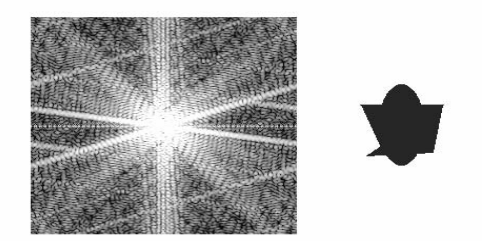
(27ـ ز) الشكل المركب(1) والطيف ثنائي البعد له



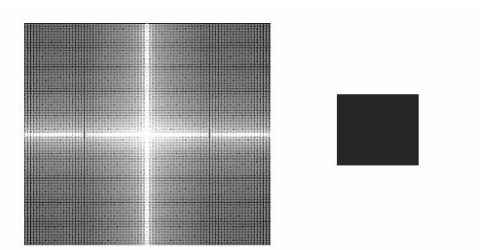
(27ـ ح) الشكل المركب(2) والطيف ثنائي البعد له



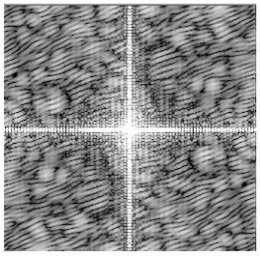
(27ـ ط) الشكل المركب(3) والطيف ثنائي البعد له



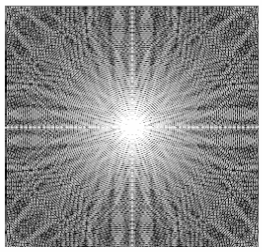
(27ـ ي) الشكل المركب(4) والطيف ثنائي البعد له



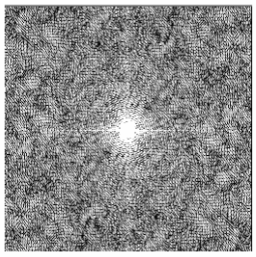
(27ـ ك) المربع دون ضجيج والطيف ثنائي البعد له



(27ـ ل) المربع مع الضجيج والطيف ثنائي البعد له



(27ـ م) الدائرة الكبيرة دون ضجيج والطيف ثنائي البعد لها



(27ـ ن) الدائرة الكبيرة مع الضجيج الكثيف والطيف ثنائي البعد لها

7 - دراسة الكلفة الحسابية (زمن المعالجة المطلوب وعدد عمليات الجداء):

درس زمن المعالجة وعدد عمليات الجداء لكل من الخوارزميـة المقترحـة (عينـات أحادية البعد)، والعينات ثنائية البعد لـصور بأبعـاد 50x50 pixel وذلـك بحـساب استطاعة الكثافة الطيفية وفق علاقة تحويل فوريه المباشر (دون استخدام خوارزمية تحويل فورييه السريع) على أجهزة الحاسوب العادية PC بالمواصفات الآتية : اللوحة الرئيسية Pentium 4، المعـالج Celeron 2.4 GHZ، القـرص الـصلب 60 GB،

الذاكرة DDR/400 256. وقد أثبتت الخوارزمية المقترحة قدرتها الكبيرة في تخفيض الكلفة الحسابية وزمن المعالجة المطلوب مما يسهل عمليات المعالجة اللاحقة (التعرف[13]) كما توضح النتائج في الجدول (3).

الشكل	أحادية البعد		ثنائية البعد	
	عدد عمليات الجداء	زمن المعالجة	عدد عمليات الجداء	زمن المعالجة
صورة بأبعاد 50x50	37500000	2.4 ثانية	46118408	9 ثانية

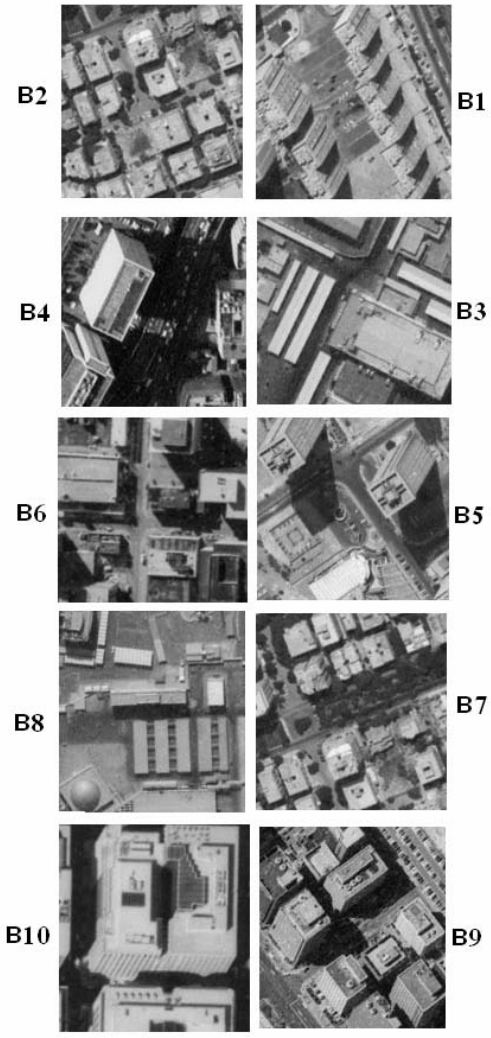
جدول (3)

8 – تطبيق الخوارزمية على صور حقيقية (صور طبيعية):

طُبِّقَتِ الخوارزمية المقترحة على صور حقيقية (شرائح من صور فضائية) تمثل مباني ومياهاً وطائرات، وذلك لاختبار الخوارزمية في تحديد التشابه Similarity (وهو عبارة عن القيمة التي تعكس قوة العلاقة بين عنصرين أو خاصيتين)، أو عدم التشابه Dissimilarity (وهو القيمة التي تعكس التباين Discrepancy بين عنصرين). سنقوم أولاً بدراسة المسافة بين المحددات لمجموعة عناصر من صنف واحد ولمجموعة عناصر أُخرى تمثل مجموعة أصناف مختلفة، ومن ثم تحديد التشابه وعدم التشابه بين هذه العناصر [14] [15].

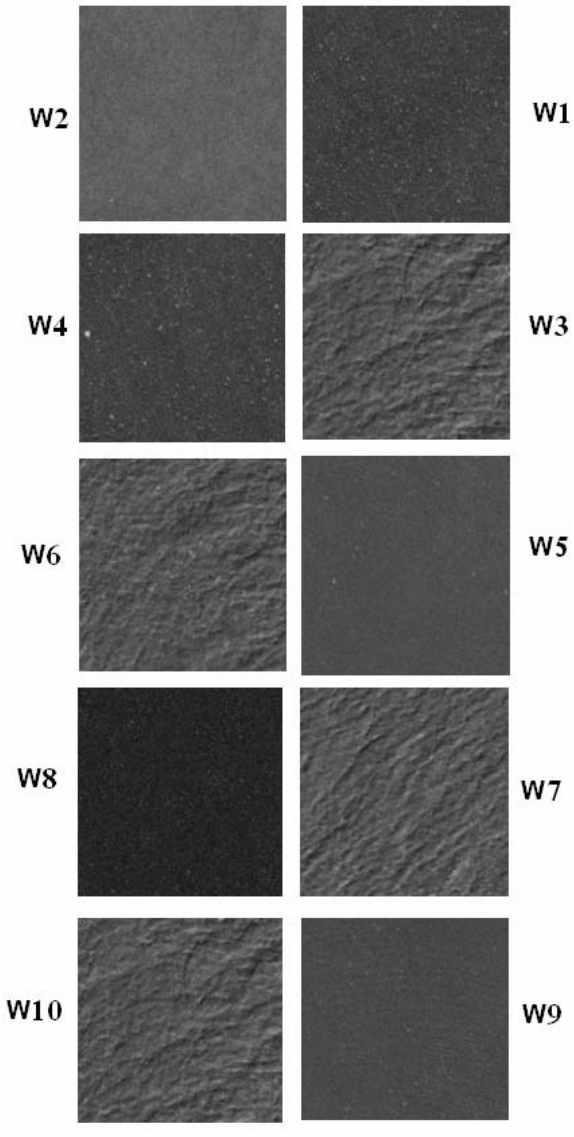
تشمل قاعدة البيانات لهذا الاختبار عدد عشر صور للعناصر من كل صنف (الأشكال من (28) وحتى (30) توضح صور العناصر للثلاثة أصناف موضع الاختبار). حيث يوضح الشكل(28) صنف المباني (تتراوح مابين البنايات الصغيرة والكبيرة وناطحات السحاب ومبانٍ مع ساحات ومبانٍ مع مواقف سيارات)، والشكل(29) صنف المياه (وتشمل مياه أنهار ومياه بحار ومياه محيطات ومياه بحيرات)، والشكل(30) صنف الطائرات (تشمل طائرات صغيرة ومتوسطة الحجم وكبيرة).

- صنف البناء :



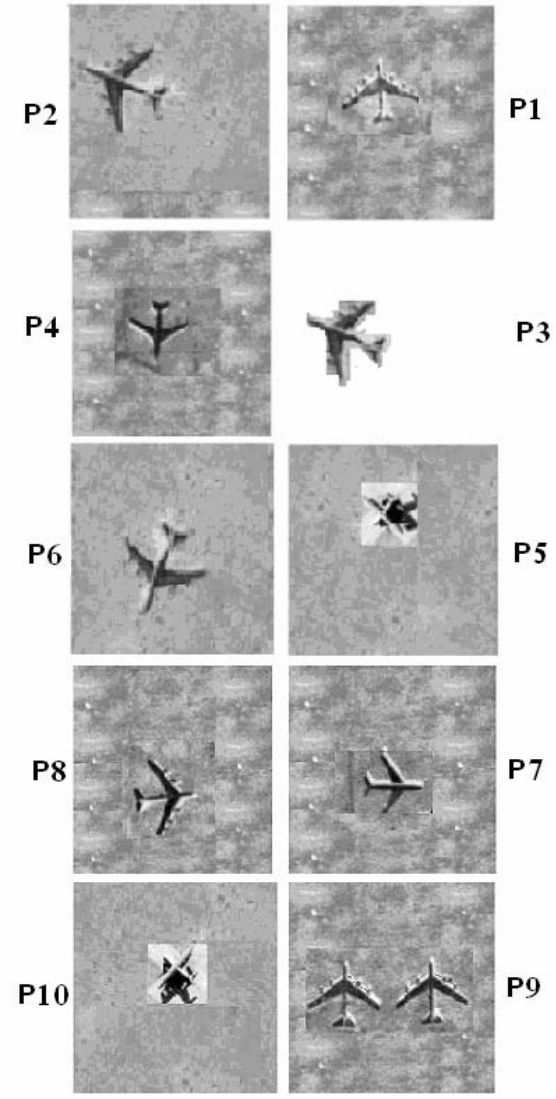
الشكل (28)

- صنف المياه :



الشكل (29)

- صنف الطائرات:



الشكل (30)

أ- دراسة المسافة بين المُحددات :

نحسب قيمة المسافة الأقليدية Euclidean distance لمحددات طيف الـصور لكـل عنصرين للعشرة عناصر من كل صنف ضمن عملية التقييس الموضوعة لهذه القـيم وذلك وفق العلاقة الآتية:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{p=1}^{N} (x_{ip} - x_{jp})^2}$$

d_{ij} المسافة بين العنصر i والعنصر j.

x_{ip} البرامتر p للعنصر i.

x_{jp} البرامتر p للعنصر j .

P هي رقم البرامتر p =1, ……,4 .

1- حساب المسافة لمحددات العناصر من صنف البناء والتي تشمل مختلف الأشكال ما بين البناء الصغير والبناء الكبير، والبناء مع ساحات:

$d_{1.2} = 0.20$
$d_{3.4} = 0.11$
$d_{5.6} = 0.08$
$d_{7.8} = 0.21$
$d_{9.10} = 0.13$

2- حساب المسافة لمحددات العناصر من صنف الماء والتي تشمل مياه أنهار ومياه بحار ومياه بحيرات ومياه محيطات:

$d_{1.2} = 0.15$
$d_{3.4} = 0.11$
$d_{5.6} = 0.10$
$d_{7.8} = 0.0\ 3$
$d_{9.10} = 0.08$

3- حساب المسافة لمحددات العناصر من صنف الطائرة وتشمل طـائرات صـغيرة ومتوسطة وكبيرة:

$$d_{1,2} = 0.10$$
$$d_{3,4} = 0.08$$
$$d_{5,6} = 0.07$$
$$d_{7,8} = 0.0\ 9$$
$$d_{9,10} = 0.07$$

4- حساب المسافة لمحددات العناصر من صنفي البناء والطائرة :

$$d_{B1,P1} = 1.22$$
$$d_{B2,P2} = 1.19$$
$$d_{B3,P3} = 1.03$$
$$d_{B4,P4} = 1.39$$
$$d_{B5,P5} = 1.03$$

5- حساب المسافة لمحددات العناصر من صنفي البناء والماء :

$$d_{B1,W1} = 1.21$$
$$d_{B2,W2} = 1.01$$
$$d_{B3,W3} = 1.42$$
$$d_{B4,W4} = 1.24$$
$$d_{B5,W5} = 1.06$$

6- حساب المسافة لمحددات العناصر من صنفي الماء والطائرة :

$$d_{W1,P1} = 1.20$$
$$d_{W2,P2} = 1.11$$
$$d_{W3,P3} = 1.10$$
$$d_{W4,P4} = 1.22$$
$$d_{W5,P5} = 1.31$$

ب- دراسة التـشابه Similarity و عـدم التـشابه Dissimilarity فـي مـسافة المحددات:

يحسب التشابه وعدم التشابه بين العناصر التي تنتمي لفئة واحدة وبين تلك التي تنتمي لفئات مختلفة، ومعرفة أثر الخوارزمية المقترحة وقوتها في إعطاء المعيـار الـلازم للاعتماد عليها في الحسابات اللاحقة للتصنيف والتعـرف، وذلـك وفـق الـشروط والعلاقات الآتية:

من حساب مسافة المحددات أعلاه نجد أن:

إذا كانت المسافة $0 \le d_{ij} \le 1$ فإن هذه المسافة تسمي dsi_{ijp} مسافة التشابه وتدل على التشابه بين العناصر.

إذا كانت المسافة $d_{ij} > 1$ فإن هذه المسافة تسمي ddi_{ijp} مسافة عدم التشابه وتدل على عدم التشابه.

1- حساب التشابه:

يتم حساب التشابه بين العناصر وفق العلاقة الآتية:

$$SI = (1 - \frac{\sum_{p=1}^{N} W_{ijp}\, dsi_{ijp}}{\sum_{p=1}^{N} W_{ijp}}) * 100$$

حيث:

SI النسبة المئوية للتشابه بين العناصر.

dsi_{ijp} مسافة التشابه بين العنصرين i وj للبرامتر p.

W_{ijp} الوزن بين العنصرين i وj للبرامتر p.

عادةً ما يعطي الوزن W_{ijp} قيمة افتراضية تساوي الواحد.

$$W_{ijp} = 1$$

- حساب التشابه بين عناصر البناء:

SI = 1- 0.146 = 85.4%

- حساب التشابه بين عناصر الماء:

SI = 1- 0.094 = 90.6%

- حساب التشابه بين عناصر الطائرة:

SI = 1- 0.082 = 91.8%

2- حساب عدم التشابه:

يحسب عدم التشابه بين العناصر وفق العلاقة الآتية:

$$DI = \left| \frac{\sum_{p=1}^{N} W_{ijp}(1 - ddi_{ijp})}{\sum_{p=1}^{N} W_{ijp}} \right| *100$$

حيث:

DI النسبة المئوية لعدم التشابه بين العناصر.

ddi_{ijp} مسافة عدم التشابه بين العنصرين i وj للبرامتر p.

W_{ijp} الوزن بين العنصرين i وj للبرامتر p.

- حساب عدم التشابه بين عناصر البناء والطائرة:

DI = 97.2 %

- حساب عدم التشابه بين عناصر البناء والماء:

DI = 98.8 %

- حساب عدم التشابه بين عناصر الماء والطائرة:

DI = 98.8 %

أثبتت النتائج أعلاه فعالية الخوارزمية المقترحة في حساب التشابه بين عناصر الصنف الواحد رغم تباين أشكال العناصر، وحساب عدم التشابه بين عناصر الأصناف المختلفة حيث إن كل قيم المسافة للعناصر من الصنف الواحد $d_{ij} \cong 0$ ، وقيم المسافة للعناصر من الأصناف المختلفة $d_{ij} > 1$.مما يثبت تمثيل نقاط السلسلة أحادية البعد لكامل معلومات الشكل.

9 – الآفاق المستقبلية للبحث:

إن الآفاق المستقبلية لهذا البحث تتمثل في استخدامه في تقانات تمييز الأشكال والتعرف على العناصر المفيدة في الصور(خاصة صور الاستشعار عن بعد)، حيث

تتكون هذه العناصر من تراكيب هندسية مختلفة الأبعاد والألـوان وليـست تراكيـب لأشكال هندسية بسيطة، وكان استخدام هذا البحث في اختبارات الأشـكال الهندسـية المحددة والبسيطة أو المركبة لإظهار إمكانية الخوارزمية الجديدة في الحفـاظ علـى الترابط الجواري للشكل.

10 - الاستنتاجات:

1. تظهر نتائج الاختبارات الموضحة في الأشكال من(الشكل (8)) وحتـى (الـشكل (27-ن)) أن خوارزمية ترتيب العينات بشكل أحادي البعد تحتفظ بكامل معلومـات الشكل الموجود في الصورة وبترابط المكونات الحيزية لهذا الشكل.
2. يتضح من نتائج الاختبارات أن خوارزمية ترتيب العينات أحادية البعد المقترحة لا تتأثر بتغيير المقياس والدوران وتغيير شدة الإضاءة والضجيج المرافق، علماً بأنها تتطلب تحديداً أولياً لمركز الثقل اللوني للصورة.
3. إن شكل كثافة الاستطاعة الطيفية لأي شكل مركب يوجد في الصورة يتكون مـن تراكب أشكال الكثافة الطيفية لكل هذا الشكل.
4. يوضح الجدول (3) أن الخوارزمية المقترحة لترتيب العينات أُحادية البعد للصور تؤدي إلى كلفة حسابية وزمن معالجة (مثلاً حساب تابع الكثافة الطيفية) أقل ممـا تتطلبه خوارزمية العينات ثنائية البعد التقليدية.
5. توضح نتائج حساب التشابه وعدم التشابه بين العناصر الموضحة في الأشكال من الشكل(28) وحتى الشكل (30)، فعالية الخوارزمية في تمثيلها لكامـل معلومـات الشكل.
6. تَعد نتائج حساب تابع كثافة الاستطاعة الطيفية للسلـسلة أحاديـة البعـد وفـق الخوارزمية المقترحة بنتائج يمكن استخدامها بشكل مناسب في عمليـات تمييـز الأشكال والتعرف عليها.

Refrences

1.Alan V. Oppenheim- Discrete Time Signal Processing – Prentice Hall – 1999.
2. Jae , S. lim–Two dimensional Signal and Image Processing . Prentice-Hall International , INC – 1990.
3. A.Marion "An Introduction To Image Processing "Chapman An Hal, Chap5, 1991.

4. Richards, J.A" Digital Image Analysis " New York,1993.
5.Gonzales and R.woods "Digital Image Processing " Addison- Wesley Publishing Company, 1992.

6. أبو عبيدة محمد الحسن،" تصنيف وتقويم خوارزميات إجراءات الكشف والتعرف علي الأهداف في صور الاستشعار عن بعد "مجلة جامعة دمشق للعلـوم الهندسـية. دمشق. سورية. 2006.
7. Ilya Levner " Shape Detection Analysis And Recognition" www.cs. Ualberta.ca .2002.
8. Mario Augusto, Regerio Eduardo, Jose Dalton, Odcmir Martinnez " Comparison Of Shape Analysis Methods For Guinardia Citricarpa Ascosporc Characterization ,Brazil-2004.
9. أبو عبيدة محمد الحسن " خوارزمية حديثة لتعتيب الصور" مجلة الاستشعار عـن بعد، العدد 19 ص 21-31، الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، دمشق سورية، 2006.
10. R.Gonzales,R.Woods and S.Eddins " Digital Image processing Using Mat lab" Prentice Hall,2004.
11. Sahoo, .K, S. Wong, A-K.c,Yc" Survey Of Thresholding Techniques" Computer Vision Graphics and Image Processing, 41,1988.
12. Murray R. Spiegel" Statistics "McGraw-Hill,1996.
13. Bennamoun, M, Mamic " Object recognition fundamentals and case studies " New York –2002.
14- C-Y . Hu , and P. Willett "Grouping Of Coefficients For The Calculation Of Similarity And Dissimilarity " Sheffield ,S10 ,2TN –UK - 2005 .
15- Kardi Teknomo " Similarity and Dissimilarity " CNV Media – 2005.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2006/4/12.