

## Sound Signal De-noising Using Wavelet Transform

Yusra Faisal Al-Irhaim

Ahmad Mohammmd Suliman

Yusrafaisalcs@uomosul.edu.iq

College of Computer Sciences and Mathematics

University of Mosul

Received on : 30/5/2012

Accepted on :18/9/2012

### ABSTRACT

In this paper, the Discrete Wavelet Transform is studied in purifying the sound signal from noise because of the good capabilities in this scope, especially when it is merged with both types of the (Thresholding), the solid and the flexible. The aim of this research is making comparisons between the types of deferent Discrete Wavelet Transform for both the filters which are used (Harr, Daubechies) in deferent levels (2, 3, 4, 5) with the additive of two types of noise to these filters (Gaussian White Noise) and (Random Noise). The decibel value that added to these filters was in the (5dB,10dB,15dB) values. Good results of the purification process are achived after computing the (Signal to Noise Ratio (SNR)) and (Mean Sequare Error (MSE)).

Key words: Signal De-noising, Wavelet Transform, Daubechies & Harr filters.

تنقية الإشارة الصوتية باستخدام التحويل المويجي

أحمد محمد سليمان

يسرى فيصل الراحيم

كلية علوم الحاسوب والرياضيات، جامعة الموصل

تاريخ قبول البحث: 201/09/18

تاريخ استلام البحث: 2012/05/30

### المخلص

في هذا البحث يتم التطرق إلى التحويل المويجي المتقطع في تنقية الإشارة الصوتية من الضوضاء لما يوفر من إمكانيات جيدة في هذا المجال وخاصة حين تم دمجها مع حد العتبة بنوعيه الصلب والمرن وكان الهدف من البحث هو إجراء مقارنات لأنواع التحويل المويجي المتقطع لأحد المرشحين الذين تم اعتمادهما (Harr ،Daubechies) في مستويات مختلفة (2, 3, 4, 5) مضافا إليهما نوعين من الضوضاء ضوضاء كاوس وضوضاء عشوائية وقيمة الديسبيل المضافة إلى مرشحي الضوضاء هذين بالقيم (5dB ، 10dB ، 15dB) وكانت نتائج عملية التنقية جيدة بعد ملاحظة نسب احتساب نسبة الخطأ بالإشارة (SNR) ومربع نسبة الخطأ (MSE).

الكلمات المفتاحية: تنقية الإشارة، التحويل المويجي، مرشح هار و ديباج.

### 1- المقدمة

ظهر في السنوات الاخيرة اهتمام كبير بتحليل الموجة بوصفها طريقة حديثة في التحويل لتطبيقات الكلام ومعالجة الصور وقد أظهرت هذه التقنية نتائج فعالة في العديد من التطبيقات مثل كبس الصور، وكشف الحافة، واستخلاص الصفات، والترشيح غير الخطي للضوضاء [1].

لقد أصبح التحويل المويجي تقنية مستخدمة لمعالجة الإشارة وتستخدم أيضا لتحليل وتركيب الإشارات المتغيرة بصورة كفاءة مثل إشارة الكلام فهي إشارة غير دورية وتغيرها مفاجئ ويستخدم التحويل المويجي لتمثيل اشارات الكلام.

في هذا البحث تم دراسة تقنيات الترشيح غير الخطية الخاصة بتنقية الإشارة في مجال الموجة وتم التركيز في هذا العمل على طريقة التنقية باستخدام الموجة إذ استخدم التحويل المويجي المتقطع لحساب الإشارة ومعاملات الموجة التي تمرر من خلال اختبار حد العتبة في هذه الحالة تحذف المعاملات ذات القيمة الأقل من

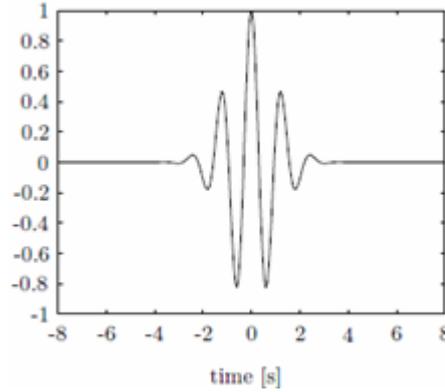
القيمة المحددة أما باقي المعاملات فتستخدم لبناء الإشارة إذ من الممكن إزالة الضوضاء مع فقدان القليل من التفاصيل لذا كانت طاقة الإشارة تتركز في الأعداد القليلة لمعاملات الموجة، تعد قيم المعاملات هذه كبيرة مقارنة مع الضوضاء التي تتوزع طاقتها فوق الأعداد الكبيرة للمعاملات.

تقليدياً يتم معالجة الإشارة بواسطة تحويل فوريير إذ يفترض أن طيف الإشارة يمتلك قليلاً من التداخل مع طيف الضوضاء وبذلك يعالج بمرشح غيرخطي هذا المرشح غير الخطي لا يفصل الضوضاء عن الإشارة إذا كان هناك تداخل في الأطياف [12].

أما في تحليل الإشارة المتقطعة بالطريقة مختلفة في هذه الحالة تتركز على افتراض أن الطول الموجي الموضح لطيف الإشارة يختلف تماماً عن الضوضاء وهذا يسمح بالقطع إلى حد العتبة وإنعاش الطول الموجي للمعاملات لفصل الإشارات وإزالة الضوضاء وهذا من صفات التحويل الموجي والتي يجعلها فعالة عند استخدامها مع الترشيح غير الخطي [1].

## 2- الموجة:

هي إشارة محدودة الاستمرارية معدلها صفر على العكس من الإشارة الجيبية التي تمتد نظرياً من  $(-\infty, +\infty)$  والموجة لها بداية ونهاية كما موضح بالشكل (1).



الشكل (1). موجة Morlet

تصنف الدالة  $\psi$ . بأنها موجية إذا استوفت المعايير الرياضية الآتية [16،13]:

1- يجب أن تكون الموجة محدودة الطاقة كما موضح بالمعادلة (1):

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty \quad \dots(1)$$

إذ إن هذه الطاقة E تساوي تكامل مربع الموجة للدالة (t) ويجب أن يكون أقل  $\infty$ .

2- إذا كان  $\psi(F)$  هو تحويل فورييه من الموجات (t)  $\psi(t)$  فيجب أن يحقق الشرط وكما الموضح بالمعادلة (2):

$$C\psi = \int_0^{\infty} \frac{|\psi(f)|^2}{f} df < \infty \quad \dots(2)$$

هذا الشرط يعني أن الموجة ليس لديها عنصر ذات تردد صفر  $(0) = \psi(0)$  ، ولكن معدل الموجة (T) يجب أن يساوي صفراً وهذا الشرط يعرف بثابت القبول (Admissibility Constant). إن قيمة C تعتمد على الموجة المختارة [15،14،11].

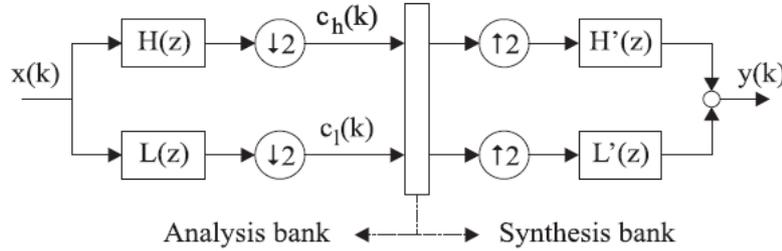
### 3- تحويل الموجة المنقطعة Discrete Wavelet Transform

إن تحويل الموجة المنقطعة يحلل الإشارة إلى حزم ترددية مختلفة وكثافات مختلفة وذلك بتحليل الإشارة إلى معلومات مفصلة (Detail) ومعلومات تقريبية (Approximation) [13، 3، 4] وكما موضح بالمعادلتين الآتيتين:

$$c_{j+1}(k) = \sum_m L(z)(m - 2k)c_j(m) \quad \dots(3)$$

$$d_{j+1}(k) = \sum_m H(z)(m - 2k)c_j(m) \quad \dots(4)$$

يتم فصل تردد الإشارة المدخلة إلى حزم تردد مساوية لعرض الحزمة بواسطة المرشحين  $L(Z)$  و  $H(Z)$ ، وهما مرشحاً تمرير منخفض وعالٍ على التوالي، حيث يحتوي الإخراج من المرشحين على نصف التردد ولكن مساوياً لمجموع العينات لإشارة الإدخال، ويحتوي الإخراجان معاً على محتوى التردد نفسه للإشارة المدخلة، وبذلك تتم مضاعفة كمية البيانات. يتم تطبيق ذلك بأخذ العينات بنسبة عامل اثنين إذ يشير الرمز  $(\downarrow 2)$  إلى النواتج من المرشحات في مصرف الترشيح والشكل (2) يوضح مثلاً لمصفي مرشح ذي قناتين للإشارة الزمنية المقطعة  $X(K)$  المدخلة إلى المصفي المحلل مرشحة بالمرشحين  $L(Z)$  و  $H(Z)$  [15،1].



الشكل (2). مرشح ذو قناتين

من الممكن إعادة بناء الإشارة الأصلية باستخدام تركيب مرشحة المصرف وفي عملية التركيب تجمع عينات الإشارة عمودياً نحو الأعلى وتمرر عبر المرشحين  $L(Z)$  و  $H(Z)$ . المرشحات في اجراء التركيب تستند إلى المرشحات في اجراء التحليل إذ تجمع المخرجات من المرشحات في اجراء التركيب مما يؤدي إلى إعادة بناء الإشارة  $y(K)$  [7،8].

### 4- الضوضاء والموجات Noise And Wavelets

تعني الضوضاء في عملية معالجة الإشارة إشارة قلق في جزء أو في كل حزم التردد، وهي بصورة عامة إشارة غير مرغوب فيها فالضوضاء الأقل انتظاماً هي التي تحتاج إلى تطبيق أكثر الطرائق تطوراً لتنقية الإشارة [12،1]. إن التمييز بين الضوضاء يتم تبعاً لخصائصها في مجال الزمن والتردد، الضوضاء البيضاء تشير إلى توزيع للضوضاء في كل مجالات التردد كلها أما ضوضاء كاوس في مقابل الضوضاء الأحادية فإن خصائصها تدل على كثافة احتمالية في مجال الزمن أما الضوضاء الأحادية لها كثافة احتمالية ثنائية في المدة المحددة، تتميز ضوضاء كاوسين بأن لها توزيعاً طبيعياً ويمكن أن تعرف في مدة غير محدودة ولمعاملين المعدل والانتشار. الظواهر

الطبيعية عادة كلها تنتج ضوضاء كاوس بسبب قانون الأعداد الكبير أما الضوضاء البيضاء فيصعب تحديدها ويصعب إزالتها لأنها تنتشر في الترددات كلها [12،1].

من الملاحظ أن التحويل المويجي يزيل الضوضاء بطريقة أكثر فعالية من الأساليب التقليدية المستخدمة. إزالة الضوضاء بالتحويل المويجي يبدأ بتطبيق التحويل المويجي على البيانات المشوشة ثم تطبيق حد العتبة على المعاملات الناتجة ثم تطبيق معكوس التحويل للحصول على إشارة تم تنقيتها مشابهة للإشارة الأصلية، إن إزالة الضوضاء بتطبيق حد العتبة على معاملات الموجة يستند الى ملاحظة أن الطاقة تتركز في الكثير من الإشارات (مثل الكلام) حيث في الأبعاد الصغيرة لمتجهات الموجة، هذه المتجهات تكون كبيرة مقارنة مع المتجهات لأي إشارة أخرى (مثل الضوضاء) التي تتوزع طاقتها على عدد كبير من المعاملات وبالتعويض بأصفار محل المعاملات الصغيرة نستطيع إزالة الضوضاء مع الحفاظ على المعاملات المهمة التي تمثل الإشارة الأصلية [7،6]. إن المرشحين المنخفض والعالي  $L(Z)$  و  $H(Z)$  يقسم تردد الإشارة الى النصف، لذلك من المنطقي إجراء الاختزال مع عامل اثنين لتجنب التكرار، فإذا كان نصف الإشارة هو  $X(k)$  فإن عملية الاختزال ب(2) تحتفظ بالعناصر الزوجية من نواتج المرشحات، وبالتالي تكون غير معكوس في حزمة التردد. يسمى إهمال المعلومات ب(Aliasing) ووفق نظرية شانون لا يحدث فقدان للمعلومات.

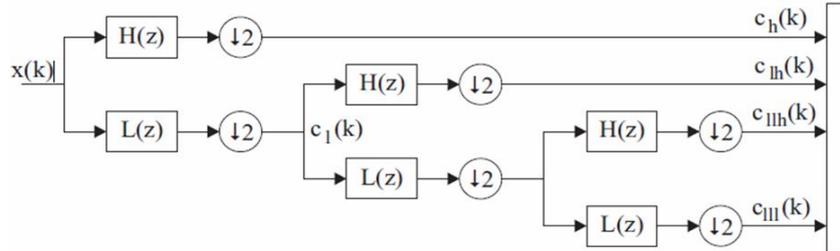
إذ تنص نظرية شانون على أن التعيين السفلي (Down Sampling) لعينات الإشارة لمعامل  $M$  ينتج إشارة يمكن حساب الطيف لها بتجزئة الطيف الأصلي إلى  $M$  من الحزم المتساوية وجمع هذه الحزم وكما بالشكل (3) [5،10].

$$x = \begin{bmatrix} \cdot \\ x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ x(3) \\ x(4) \\ \cdot \end{bmatrix} \quad (\downarrow 2)x = \begin{bmatrix} \cdot \\ x(0) \\ x(2) \\ x(4) \\ \cdot \end{bmatrix} \quad (\uparrow 2)(\downarrow 2)x = \begin{bmatrix} \cdot \\ x(0) \\ 0 \\ x(2) \\ 0 \\ x(4) \\ \cdot \end{bmatrix}$$

الشكل (3). تجزئة الطيف الأصلي

في تركيب الإشارة ترفع العينات (Up Sampled) قبل الترشيح، عملية رفع العينات لمعامل 2 تتم بإضافة أصفار بين العينات للإشارة الأصلية. إن عملية خفض العينات ثم رفعها مرة ثانية لا يعيد الإشارة الأصلية.

إن التبدل ل(2) هو (2) بترتيب معكوس، يتم وصف التركيب تبديلاً للتحليل كذلك  $(I = \downarrow 2 \uparrow 2)$  وبما أن (2) هو معكوس ل(2). لذا من الممكن الحصول على الإشارة الأصلية برفع العينات وخفضها، وذلك بإضافة أصفار ثم حذفها فيتم الحصول على الإشارة الأصلية [10].



(a) analysis bank

الشكل (4). تحليل وتركيب للإشارة بثلاث مستويات

تمثل إشارة الكلام المشوشة مجموعة من إشارات الكلام النقية مع ضوضاء مضافة كما في المعادلة الآتية [2,15]:

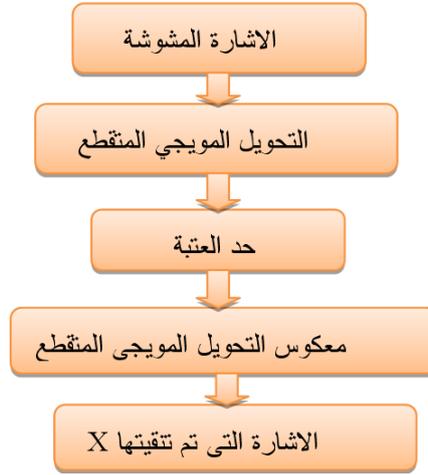
$$X_m(n) = S_m(n) + W_m(n) \quad \dots(5)$$

إذ تمثل:  $X_m(n)$  إشارة الكلام المشوشة.  $S_m(n)$  إشارة الكلام النقية.  $W_m(n)$  إشارة الضوضاء. في المقطع  $n$ .

## 6- إجراء التنقية Denoising Procedure

يضم الإجراء العام لتنقية الإشارة ثلاث خطوات أساسية:

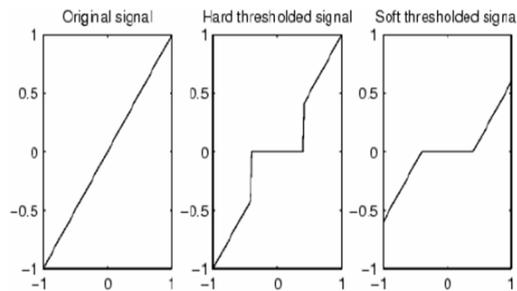
1. التحليل: اختيار المويجة، واختيار المستوى  $N$ ، وحساب التحليل المويجي لإشارة  $S$  في المستوى  $N$ .
2. حد العتبة: المعاملات المفصلة لحد العتبة، لكل مستوى من  $1$  إلى  $N$ ، يضم اختيار حد العتبة ويحدد نوع حد العتبة إما مرناً أو صلباً وتطبق على المعاملات المفصلة.
3. إعادة البناء: حساب إعادة بناء المويجة يتم باستخدام المعلومات الأصلية التفصيلية في المستوى  $N$  وتعديل المعلومات التفصيلية من  $1$  إلى  $N$  من المستويات كما في الشكل (5).



الشكل (5). خوارزمية إزالة الضوضاء

## 7- حد العتبة الصلب والمرن Soft And Hard Thresholding

يعد حد العتبة الصلب من أبسط الطرائق في التطبيق، أما حد العتبة المرن فيمتلك خصائص رياضية كما مبين بالشكل (6):



الشكل (6). حد العتبة الصلب و المرن

لنفرض أن  $t$  تمثل حد العتبة، فتمثيل حد العتبة الصلب على الإشارة  $X$  كما موضح بالمعادلة (6). أما حد العتبة المرن موضح في المعادلة (7).

$$X = \begin{cases} X & \text{if } |X| > t \\ 0 & \text{if } |X| < t \end{cases} \quad \dots(6)$$

$$X = \begin{cases} \text{Sign}(X)(|X| - t) & \text{if } |X| > t \\ 0 & \text{if } |X| < t \end{cases} \quad \dots(7)$$

توصف المعالجة بحد العتبة الصلب وذلك بوضع أصفار محل القيم التي فيها القيمة المطلقة أقل من حد العتبة (t)، أما حد العتبة المرن فيتم وضع أصفار محل القيم التي فيها القيمة المطلقة أقل من حد العتبة ثم تقريب المعاملات القريبة من الصفر إلى الصفر [8، 9].

### 8- مرشحي ديباج وهار (Daubechies & Harr)

إن عائلة (Daubechies) سميت بعد أن اوجد (Ingrid Daubechies) الموجة جاعلا التحليل المويجي متعامداً (orthonormal) في الزمن المتقطع ممكناً، الرتبة الأولى من موجة (Daubechies) تعرف ب (Harr) إذ إن دالتها الدرجة 1 [12]. الموجة (Harr) أو Daubechies يمكن أن تكتب بالصورة الآتية:

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in [0 \ 0.5] \\ -1 & \text{if } x \in [0.5 \ 1] \\ 0 & \text{if } x \notin [0 \ 1] \end{cases} \quad \dots(8)$$

$$\phi(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in [0 \ 1] \\ 0 & \text{if } x \notin [0 \ 1]. \end{cases} \quad \dots(9)$$

ليس من السهولة إيضاح الرتب الأعلى لدوال (Daubechies) بشكل تعبير تحليلي إذ تمثل الرتبة في دوال (Daubechies) عدد لحظات الاختفاء أو عدد لحظات الصفر لدالة الموجة وهذا يتعلق بعدد التذبذبات للدالة الموجية. إن العدد الأكبر للحظات الاختفاء هو الأفضل لتحديد تردد تحليل الدالة إذ تقل الاعتمادية بين معاملات الموجة في مختلف المقاييس مع زيادة رتبة الموجة [3، 13، 5].

الرتبة لدالة الموجة يمكن أن تقارن مع رتبة المرشح الخطي وإن الموجات من نوع (Daubechies) توفر موجات متعامدة (orthogonal) وأن مرشحات التقييس هي مرشحات طور واطئ [3].

### 9- الخوارزمية :

تم اقتراح الخوارزمية التالية في هذا البحث:

- 1- تحميل ملف صوتي من نوع (\*.Wav) وإمكانية تشغيله وتحليل إشارة الملف إلى طيف الإشارة والتردد.
- 2- رسم هاتين الإشارتين بعد التحليل وعرضهما.
- 3- تحويل الإشارة المدخلة إلى الصيغة الموجية باستخدام احد المرشحين (Daubechies, Harr)
- 4- تحديد المستوى الذي سيتوقف عنده تحليل الإشارة.
- 5- رسم نتائج التحليل لكل من المعاملات المقربة والمعاملات المفصلة وعرضهما.
- 6- إضافة الضوضاء إلى الإشارة المدخلة باستخدام أحد المرشحين ضوضاء كاس ووضواء عشوائية.
- 7- تحديد نسبة الضوضاء المضافة إلى الإشارة المدخلة، وذلك بتحديد قيمة الديسيبل التي تكون احد القيم الأتية ل SNR (5db، 10db، 15db).
- 8- رسم الإشارة الأصلية.
- 9- رسم الإشارة الناتجة مع الضوضاء وعرضها.

10- إجراء عملية إزالة الضوضاء للإشارة المشوشة بالاعتماد على تحديد قيمة حد العتبة بنوعها الصلب والمرن.

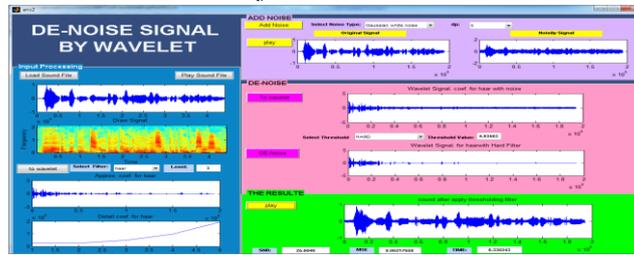
11- رسم الإشارة المشوشة بصيغة الموجة وعرضها.

12- عرض الملف الصوتي للإشارة التي تم تنقيتها.

13- طباعة نتائج التقييم لعملية التنفيذ من خلال حساب نسبة الخطأ (SNR) ومعدل مربع نسبة الخطأ (MSE) والزمن المستغرق لتنفيذ الموجة.

### 10- تنفيذ البرنامج:

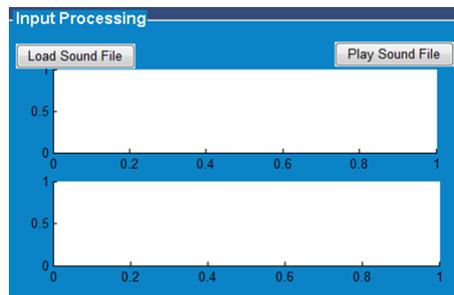
يتكون البرنامج من واجهة رئيسية، تم تصميمها باستخدام الواجهات الرسومية في برنامج ( MATLAB GUI 7.10 2010 R) وتم عمل جميع الدوال الفرعية المرتبطة معها باستخدام ( MATLAB 7.10 2010 R M.FILE ) ، تعمل على التحكم في مراحل تنفيذ البرنامج ويجب استدعاء الدالة (M. Ans2) لبدء تنفيذ برنامج النظام وهي تعمل على استدعاء الواجهة الرئيسية للبرنامج كما في الشكل (7).



الشكل (7). واجهة النظام الرئيسية.

يمكن أن نقسم هذه الواجهة إلى مجموعة من الواجهات الفرعية التي كل منها يؤدي مهمة معينة، تم استخدام أداة (Text) لكتابة العناوين ضمن الواجهة وأداة (Axes) لعرض الإشارة وأداة (Push Button) لمفتاح الاختيار ( Play DE-Noise, Add Noise, To Wavelet, Play Sound File, Load Sound File) واستخدم أيضا الأداة (Pop menu) في تحديد نوع المرشح (Select Filter) وعدد المستويات (level) للمرشح وتحديد نوع الضوضاء المضافة للإشارة وتحديد عدد الديسيبل المضاف (Db) وتحديد نوع حد العتبة.

### 1-10 الواجهة الفرعية الأولى: (Input Processing) كما في الشكل (8).

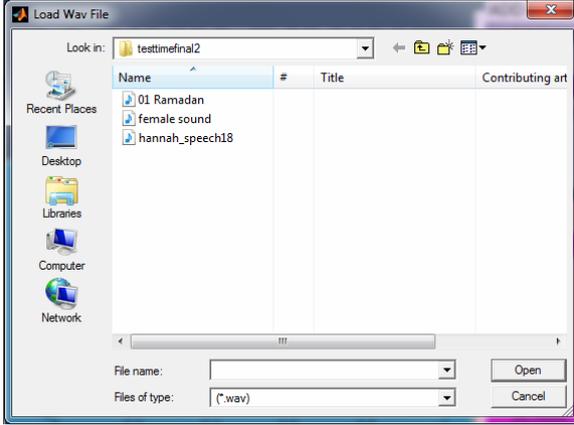


الشكل (8). تحميل ملف صوتي وتشغيله ورسم معلومات الإشارة.

تتضمن هذه الواجهة مفتاح (Push Button) لإدخال الملف الصوتي فعند الضغط على المفتاح ستظهر واجهة

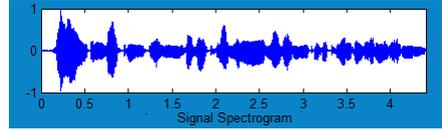
Load Sound File

يتم فيها تحديد مكان الملف الصوتي كما موضح بالشكل (9)



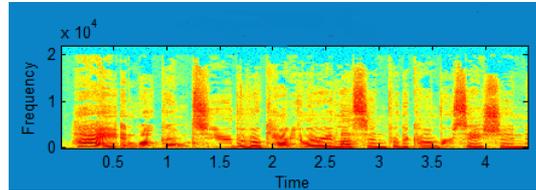
الشكل (9). اختيار الملف الصوتي

يتم اختيار ملف صوتي من نوع ( \*.wav ) وفق المسار المحدد من المستخدم، ثم الضغط على مفتاح **Open** لاختيار الملف الصوتي، ولتشغيل الملف الصوتي نقوم بالضغط على مفتاح **Play Sound File** وذلك لسماع الملف الصوتي المحدد، ثم عرض الإشارة كما موضح بالشكل (10).



الشكل (10). عرض الإشارة الأصلية.

وبالوقت نفسه يتم عرض طيف الإشارة وعرض تردداتها (Frequency) وزمنها (Time) وكما موضح بالشكل (11).



الشكل (11). عرض طيف الإشارة

تتضمن هذه الواجهة تحويل الإشارة إلى صيغة الموجة وذلك باختيار نوع المرشح (Select Filter) من شريط القوائم (Pop menu) وكما موضح بالشكل (12).



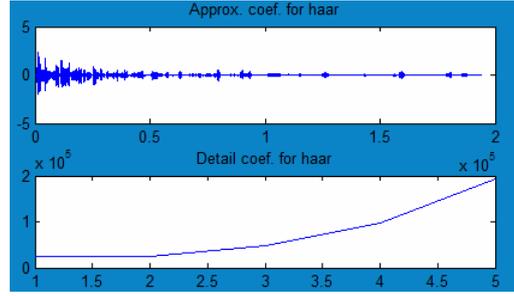
الشكل (12). تحديد نوع المرشح

وتحديد عدد المستويات التي ستحدد عدد المرات التي ستتحلل فيها معاملات الإشارة وكما موضح بالشكل (13):



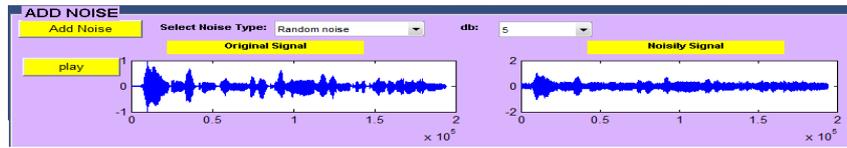
الشكل (13). تحديد مستوى المرشح

ثم نقوم بالضغط على مفتاح (Push Button) **to wavelet** لتحويل الإشارة إلى صيغة الموجة وبهذا نحصل على كل من المعاملات المقربة والمعاملات المفصلة كما موضح بالشكل (14).



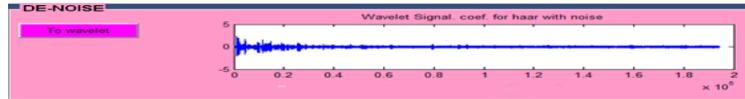
الشكل (14). عرض المعاملات التقريبية والتفصيلية

2-10 الواجهة الفرعية الثانية: (ADD NOISE) يتم في هذه الواجهة استعراض الإشارة الأصلية قبل إضافة الضوضاء إليها وإشارة أخرى مشوشة بأحد أنواع الضوضاء التي تم تحديد عدد الديسبل فيها كما موضح بالشكل (15).



الشكل (15). إضافة الضوضاء وعرض الإشارتين الأصلية والمشوشة

3-10 الواجهة الفرعية الثالثة: (DE-NOISE) تتضمن هذه الواجهة عمليتين أساسيتين الأولى عرض الإشارة المشوشة بصيغة الموجة عند الضغط على المفتاح **To wavelet** حيث يتم عرض الإشارة مشوشة بصيغة الموجة كما موضح بالشكل (16).



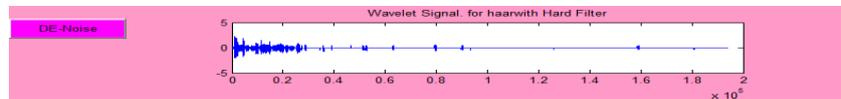
الشكل (16). عرض الإشارة المشوشة

والثانية يتم فيها تنقية الإشارة وذلك بتحديد معامل حد العتبة بنوعها الصلب والمرن وكما موضح بالشكل ذي الرقم (17).



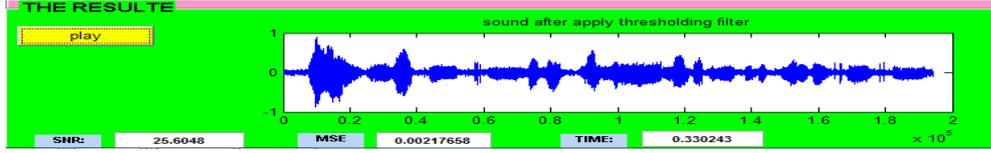
الشكل (17). تحديد نوع حد العتبة

ثم تنقية الإشارة الصوتية المشوشة عند الضغط على المفتاح **DE-Noise** يتم عرضها كما في الشكل (18).



الشكل (18). عرض الإشارة بعد التنقية

4-10 الواجهة الفرعية الرابعة: (THE RESULT) نحصل على الإشارة التي تم تنقيتها من الضوضاء والمسترجعة باستخدام الموجة وإمكانية سماعها بالضغط على المفتاح **play** أو مشاهدة رسم الإشارة، كما يتم في هذه الواجهة عرض نسب كل من نسبة الخطأ الإشارة (SNR) ومربع معدل نسبة الخطأ (MSE) والزمن المستغرق للموجة (Time) كما موضح في الشكل (19).



الشكل (19). عرض النتائج النهائية للتقييم

## 11- النتائج والاستنتاجات Results and Conclusions

تم تقييم النتائج في هذا البحث لحساب قيمة نسبة الخطأ بالإشارة (SNR) وحسب المعادلة الآتية:

$$SNR_{out} = 10 \log_{10} \frac{\sum S^2(n)}{\sum (S(n) - S^{\wedge}(n))^2} \dots(10)$$

وكذلك تم حساب معدل نسبة الخطأ (MSE) وفق المعادلة الآتية:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (S^{\wedge}(n) - S(n))^2 \dots(11)$$

تناول البحث الملف الصوتي (A1.WAV) وقد تم اختبار الملف الصوتي على المستويين الثالث والرابع مع إضافة وتحديد نسبة الديسيبل وتحديد بثلاث نسب مختلفة وهي (5dB, 10dB, 15dB) وكانت النتائج كما موضح في أدناه:

عند استخدام الضوضاء العشوائية لوحظ حصول أفضل النتائج في المستوى الثالث مع مقدار ضوضاء بنسبة (5dB) عند استخدام المرشح (10dB) وحد العتبة الصلب فإننا نحصل على زمن تنفيذ اقل مقارنة عند استخدامنا للمرشحات التي اقل من قيمة هذا المرشح وكذلك المرشح (Harr) وكذلك فإن نسبة الخطأ، الإشارة كانت اكبر من المرشحات السابقة ل(10dB) ولوحظ أيضا أن مربع معدل نسبة الخطأ كان بصورة عامة أفضل من بقية النتائج السابقة عموماً وزمن تنفيذ الإشارة اقل نسبياً مقارنة بالمرشح التي قيمة المرشح فيها اكبر من المرشح (10dB) أما عند استخدام حد العتبة المرن فكانت غالبية النتائج متقاربة، عند استخدام مرشح الضوضاء كاوس، بصورة عامة نحصل على أفضل النتائج في المرشح (10dB) بكل مستوياته من المرشح (Harr) وتقل هذه النتائج بالتدرج بنقصان قيمة المرشح إلى أن تصل اقل نسبة لها في المرشح (2dB) كما موضح بالجدول (1).

عند استخدام الضوضاء العشوائية بصورة عامة لم تكن النتائج جيدة إذ كانت نسبة الخطأ للإشارة عالية نسبياً عند تحديد حد العتبة الصلب باستخدام أنواع المرشحات كلها لكن النتائج تحسنت عند استخدامنا حد العتبة المرن واستخدام المرشحين (10dB, 14dB) وكان زمن التنفيذ متفاوتاً نسبياً.

عند استخدام ضوضاء كاوس وتحديد حد العتبة الصلب حصلنا على أفضل النتائج عند تحديد المرشح (20dB)، وعند تحديد حد العتبة المرن كانت النتائج أفضل باستخدام قيم المرشحات العظمى للمرشح (20dB) مع زمن تنفيذ يزداد تقريباً بزيادة المرشح (20dB) كما موضح بالجدول (2).

عند استخدام الضوضاء العشوائية بصورة عامة لم تكن النتائج جيدة حيث كانت مربع معدل نسبة الخطأ عالية نسبياً عند تحديد حد العتبة الصلب باستخدام كل أنواع المرشحات، كذلك نفس النسب تقريباً في استخدام حد العتبة المرن مع بعض التحسن في المرشح (14dB).

عند استخدام ضوضاء كاوس وتحديد حد العتبة الصلب كانت نسبة خطأ الإشارة مرتفعة وهذا غير جيد بصورة عامة، إلى أن نسبة خطأ الإشارة انخفضت وتحسنت النتائج نسبياً باستخدام حد العتبة المرن.

عند استخدام الضوضاء العشوائية كانت النتائج متقاربة بالنسبة لخطأ الإشارة إلى أن المرشح (16dB) أعطى أفضل النتائج. إلى أن هذه النتائج أخذت بالتحسن عند استخدام حد العتبة المرن.

عند استخدام ضوضاء كاوس وتحديد حد العتبة الصلب كانت نسبة خطأ الإشارة مرتفعة وهذا غير جيد بصورة عامة، الى ان نسبة خطأ الإشارة انخفضت وتحسنت النتائج نسبيا باستخدام حد العتبة المرن. عند استخدام الضوضاء العشوائية كانت أفضلية النتائج عند استخدام المرشحين (16dB,6dB) بنسب خطأ للإشارة متقاربة نسبيا عند تحديد حد العتبة الصلب، ام عند اختيار حد العتبة المرن كانت الأفضلية بتحسن النتائج.

عند استخدام ضوضاء كاوس كانت أفضلية النتائج عند استخدام المرشح(8dB) عند حد العتبة الصلب كانت متقاربة وهي أفضل عند استخدام القيم الكبيرة للمرشح. وعند استخدام حد العتبة المرن تحسنت النتائج بصورة ملحوظة.

عند استخدام المرشحين(ضوضاء كاوس و ضوضاء عشوائية) كانت النتائج عموما متقاربة عند تحديد كلا حد العتبة المرن والصلب.

من هنا تجدر الإشارة إلى أن عموم التنقية في المستوى الثالث هي أفضل من التنقية في المستوى الرابع ولو حظ عند إعادة التجربة لنفس الملف المحدد مع نفس التحديدات اختلفت نسبة قيمة نسبة الخطأ للإشارة وكذلك مربع معدل نسبة الخطأ ويرجع السبب إلى آلية توليد القيم العشوائية للمرشحين (ضوضاء كاوس وضوضاء عشوائية) في كل مرة بصورة مختلفة عن الأخرى.

جدول (1). التحليل للمستوى الثالث مع إضافة ضوضاء بقدر (ديسيبل 5)

Level 3 Decomposition With Addition Of 5 dB Noise												
Wavelet	Random Noise						Additive Gaussian Noise					
	Hard Thresholding			Soft Thresholding			Hard Thresholding			Soft Thresholding		
	SNR	MSE	TIME	SNR	MSE	TIME	SNR	MSE	TIME	SNR	MSE	TIME
Haar	25.5792	0.002134	0.0908645	24.6017	0.002252	0.089147	26.2753	0.002030	29.73	24.933	0.00228	0.84168
Db2	28.3977	0.001591	0.094979	30.1962	0.001597	0.0943445	29.73	0.001596	0.09499	29.254	0.00170	0.10426
Db4	28.7384	0.001423	0.102912	28.723	0.001433	0.103219	28.1265	0.001426	0.09916	28.536	0.00154	0.10126
Db6	29.4303	0.001370	0.105845	29.1542	0.001349	0.107468	29.2228	0.001245	0.11274	29.327	0.00131	0.12024
Db8	28.8741	0.001396	0.116937	29.4707	0.001327	0.118085	29.3772	0.001215	0.11884	28.903	0.00147	0.11802
Db10	29.4731	0.001321	0.122721	28.8987	0.001435	0.127666	29.5365	0.001368	0.12968	28.783	0.00142	0.12733
Db12	28.8705	0.001368	0.138923	29.047	0.001359	0.139439	29.0471	0.001388	0.14061	29.033	0.00144	0.13885
Db14	29.3813	0.001334	0.145408	29.2115	0.001316	0.147618	29.3481	0.001303	0.14480	28.784	0.00153	0.14315
Db16	29.9353	0.001218	0.148143	29.1366	0.001441	0.149917	29.8983	0.001166	0.15287	29.605	0.00124	0.14948
Db18	29.3688	0.001283	0.168719	28.2754	0.001493	0.160402	29.0668	0.001336	0.16549	29.195	0.00137	0.18349
Db20	29.0025	0.001363	0.180758	29.0688	0.001288	0.187944	28.7739	0.001394	0.18200	28.470	0.00144	0.21127

جدول (2). التحليل للمستوى الثالث مع إضافة ضوضاء بقدر (ديسيبل 10)

Level 3 Decomposition With Addition Of 10 dB Noise													
Wavelet	Random Noise						Additive Gaussian Noise						
	Hard Thresholding			Soft Thresholding			Hard Thresholding			Soft Thresholding			
	SNR	MSE	TIME	SNR	MSE	TIME	SNR	MSE	TIME	SNR	MSE	TIME	
Haar	30.5722	0.00086368	0.093901	27.8226	0.00127447	0.096896	30.2828	0.0009268	0.096638	27.609	0.001239	0.09944	
Db2	32.9844	0.00052085	0.107705	32.1819	0.000777489	0.111294	32.5145	0.0005668	0.099459	32.114	0.000771	0.10340	
Db4	33.6312	0.00042668	0.10522	32.5708	0.000576523	0.111585	33.7539	0.0004171	0.111402	32.486	0.000580	0.11116	
Db6	34.6439	0.00034606	0.115673	32.9993	0.000568019	0.117853	34.2429	0.0003857	0.123606	32.662	0.000578	0.11632	
Db8	34.5638	0.00034076	0.122046	32.546	0.000586777	0.141538	34.8506	0.0003314	0.148761	32.795	0.000573	0.13907	
Db10	34.1563	0.00037630	0.141138	32.8695	0.000539772	0.142344	34.8332	0.0003271	0.14411	32.76	0.000560	0.14293	
Db12	34.9256	0.00033487	0.142697	33.3321	0.000502684	0.152122	34.7857	0.0003653	0.158957	33.135	0.000552	0.16501	
Db14	34.8143	0.00036415	0.164715	32.9056	0.000560193	0.159709	34.8242	0.0003384	0.172152	33.445	0.000505	0.15539	
Db16	34.8559	0.00032032	0.160794	33.1726	0.000536536	0.169923	35.2765	0.0003195	0.177943	33.153	0.000528	0.17680	
Db18	34.9686	0.00033252	0.178374	33.0779	0.000528997	0.185753	34.6501	0.0003580	0.189894	32.953	0.000549	0.18696	
Db20	34.9589	0.00031428	0.205185	33.0496	0.00053143	0.247595	34.6539	0.0003348	0.214591	33.077	0.000520	0.21540	

المصادر

- [1] A. sumithra M G, Member, IACSIT, B. Thanushkodi K, [2009], "**Performance Evaluation Of Different Thresholding Methods In Time Adaptive Wavelet Based Speech Enhancement**", IACSIT International Journal of Engineering and Technology Vol.1, No.5, P439-447.
- [2] Angkoon Phinyomark, Chusak Limsakul, Pornchai Phukpattaranont, [2010], "**Optimal Wavelet Functions In Wavelet Denoising For Multifunction Myoelectric Control**", ECTI TRANSACTIONS ON ELECTRICAL ENG., ELECTRONICS, AND COMMUNICATIONS, VOL.8, NO.1, p.p:43-52
- [3] B. Mohan Kumar, R. Vidhya Lavanya, [2011], "**Signal Denoising With Soft Threshold By Using Chui-Lian [CL] Multiwavelet**", International Journal of Electronics & Communication Technology IJECT Vol. 2, Issue 1, P38-42.
- [4] Claudia Schremmer, Thomas Haenselmann and Florian Bomers, [2009], "**A Novel Approach In Wavelet Based Signal Enhancement Using Labview**", ELECTRON Technical Report of Department of Electronics and Communication Engineering, Volume 1, Issue 1, P222-228
- [5] Erik Visser, Manabu Otsuka, Te-Won Lee, [2003], "**A Spatio-Temporal Speech Enhancement Scheme For Robust Speech Recognition In Noisy Environments**", Speech Communication, Vol. 41, Pages 393–407.
- [6] J.Pang, S. Chauhan, [2008], "**FPGA Design Of Speech Compression By Using Discrete Wavelet Transform**", Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008 WCECS 2008, San Francisco, USA.
- [7] Jayakrishnan U, Gourav Dhavale, Prashant Khandelwal, [2005], "**Wavelet Denoising Of Discrete-Time Signals**", EE678 Wavelets Application Assignment.
- [8] M. Képesi, L. Weruaga, [2006], "**Adaptive Chirp-Based Time-Frequency Analysis Of Speech Signals**", Speech Communication, Vol. 48, Issue 5, Pages 474-492.
- [9] M. Nagabushanam , Cyril Prasanna Raj P, S. Ramachandran, [2009], "**Design And Implementation Of Parallel And Pipelined Distributive Arithmetic Based Discrete Wavelet Transform IP Core**", European Journal of Scientific Research , Vol.35 No.3, pp.378-392 .
- [10] Nanshan Li, Mingquan Zhou, [2008], "**Audio Denoising Algorithm Based on Adaptive Wavelet Soft-Threshold of Gain Factor and Teager Energy Operator**" Proceedings of IEEE International Conference on Computer Science and Software Engineering, Vol. 1, pp:787-790.
- [11] Nima Nikvand, [2005] ,"**Data Denoising By Noise Invalidation**", Master thesis, Ryerson University, Toronto, Canada.
- [12] R.J.E. Merry, [2005], "**Wavelet Theory And Applications A Literature Study**", Eindhoven University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Control Systems Technology Group.

- [13] Rajeev Aggarwal, Jai Karan Singh, and others, [2011], "**Noise Reduction Of Speech Signal Using Wavelet Transform With Modified Universal Threshold**", International Journal of Computer Applications, Volume 20, No.5, P14-19.
- [14] Rer. Nat, [2011], "**A Wavelet Tour Of Option Pricing**", Universitat Ulm Fakultat f• ur Mathematik und Wirtschaftswissenschaften, Mario Rometsch.
- [15] Subhra Debdas, Vaishali Jagrit, Chinmay Chandrakar, M.F.Quereshi, [2011], "**APPLICATION OF WAVELET TRANSFORM FOR SPEECH PROCESSING**", International Journal of Engineering Science and Technology [IJEST], Vol. 3 No. 8,p.p: 6666-6670.
- [16] Wynand Harmse, [2004], "**Wavelet-Based Speech Enhancement:A Statistical Approach**", Master Thesis, Engineering, University of Stellenbosch.