مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (2) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (2) 2008

دراسة ومعالجة ظاهرة الصدى في نظام الاتصالات

الدكتور هيثم الرضوان*
الدكتور صادق علي**
فيفاء مكائيل***

(تاريخ الإيداع 6 / 1 / 2008. قُبِل للنشر في 2008/3/18)

□ الملخّص □

تعتبر ظاهرة الصدى في نظم الاتصالات السلكية واللاسلكية من أهم المعوقات التي تحول دون الحصول على إشارة المعلومات بشكل واضح ونقي. أي تؤثر سلباً على جودة الإشارة وأداء النظام. من هنا جاء هذا البحث ليدرس ظاهرة الصدى، أسبابه وآلية حدوثه ومن ثم اقتراح طريقة محددة للتخلص من هذه الظاهرة. لقد نُمذج الصدى ومعالج الصدى برمجياً باستخدام لغة الـ (MATLAB) وذلك بالعمل على مرشحات تعتمد مبدأ الترييعات الصغرى لكبت الصدى في قناة الاتصال. تم التوصل من خلال البحث إلى نتائج تساعد في التخلص من إشارة الصدى ذلك من أجل ضمان جودة الاتصال.

الكلمات المفتاحية: الاتصالات الفضائية، الصدى، مزيل الصدى(EC)، الصدى الهجين, الصدى السمعي, الترييعات الصغرى.

* أستاذ مساعد–قسم هندسة الاتصالات و الإلكترونيات–كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية–جامعة تشرين–اللاذقية–سورية.
**أستاذ مساعد–قسم هندسة الاتصالات و الإلكترونيات–كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية–جامعة تشرين–اللاذقية–سورية.
***طالب دراسات عليا (ماجستير)– قسم هندسة الاتصالات و الإلكترونيات–كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (2) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (2) 2008

Studying and Handling the Phenomenon of Echo in Communication Systems

Dr. Haytham Al-Radwan*
Dr. Sadek Ali**
Faifaa Mikaiel***

(Received 6 / 1 / 2008. Accepted 18 / 3 / 2008)

□ ABSTRACT □

The phenomenon of echo in wired and wireless communication is considered to be one of the most important obstacles that affects the quality of the signal and system performance. This research aims to study the phenomenon of echo, its reasons, and its mechanisms. Bearing the outcome in mind, a method is to be suggested to overcome these obstacles. The echo and the echo canceller were simulated by MATLAB using NLMS to suppress the echo of the communication channel. This paper offers effective suggestions to overcome the echo signal and therefore ensure the quality of communication.

Keywords: Satellite communication, Echo, Echo canceller, Hybrid, Acoustic, NLMS.

*Associate Professor, Department of communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
**Associate Professor, Department of Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia , Syria.
***Postgraduate Student, Department of Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يتألف نظام الاتصال بشكل عام من جهاز إرسال وجهاز استقبال و قناة اتصال، و يختلف نوع التجهيزات من نظام اتصال لآخر، وكذلك قناة الاتصال التي يمكن أن تكون خط اتصال سلكي معدني أو لاسلكي، مثل أنظمة الاتصالات الفضائية عبر الأقمار الصناعية، المكونة من جزء فضائي (space segment), وجزء أرضي (ground segment). تختلف كذلك أجهزة الإرسال والاستقبال من نظام لآخر فمن الممكن أن تكون حواسب(computers) أو هواتف محمولة (mobiles)أو أجهزة هاتف ثابتة (الشبكة الهاتفية العامة)(PSTN) (Public Switched Telephone Network) أو أجهزة أخرى. تستخدم أنظمة الاتصال لإرسال الإشارة الكلامية وإرسال المعلومات ، وهناك مجموعة من الأسباب تؤدي إلى انخفاض نوعية الاتصال وتؤثر على وثوقية الاتصال، منها ظاهرة الصدى التي يظهر تأثيرها بشكل واضح أثناء إرسال الإشارة الكلامية مثلاً في الاتصالات الهاتفية. تعد المسافة بين المتصلين عاملا مهما في تحديد نشوء هذه الظاهرة، فكلما كان البعد بين المتصلين أكبر كلما احتاجت الإشارة زمناً أكبر للوصول إلى طرف الاستقبال واستغرق ذلك زمن اتصال أكبر سواء أكان الاتصال أرضي أم فضائي، وبالتالي ظهور الصدى المعيق للاتصال بأشكاله حيث أن زيادة طول قناة الاتصال يزيد من تأخير إشارات الصدى، مما يزيد احتمال وقوع هذه الإشارات بين الفواصل الكلامية للإشارات الصوتية المرسلة، هذا يعني تزايد احتمال سماع هذه الانعكاسات من قبل الشخص المتكلم، مما يؤثر على جودة ونوعية الاتصال، من هنا نجد أنه لابد من معالجة هذه الظاهرة إما بحذفها إن أمكن أو جعلها أقل ما يمكن. من أجل معالجة هذه الظاهرة من الضروري معرفة الأسباب المؤدية إلى حدوثها. ولذلك سندرس نظام اتصال من حيث البنية ونوعية الاستخدام (مثلاً إرسال إشارات كلامية عبر النظام الهاتفي).

أهمية البحث و أهدافه:

نظرا لأهمية التخلص من ظاهرة الصدى للحفاظ على وثوقية و جودة الاتصال الهاتفي سيتم في هذا البحث دراسة ظاهرة الصدى في الاتصالات وتحليلها واقتراح خوارزمية عمل لمعالجتها و التحقيق البرمجي لهذه الخوارزمية. تم التوصل إلى نتائج تساعد في التخلص من الصدى وذلك عن طريق استخدام مزيل الصدى المقترح ضمن نظام الاتصال.

طريقة البحث ومواده:

لتحليل ظاهرة الصدى ، تم اقتراح خوارزمية عمل و محاكاتها باستخدام اللغة البرمجية (MATLAB). تفيد المحاكاة في تمثيل نظام الاتصال الذي يتعامل مع الإشارات الكلامية. يوجد ضمن هذا النظام مجموعة من البارامترات التي تخص المرشح المستخدم، فتمت دراسة النتائج التي يعطيها النظام من اجل مجموعة قيم متغيرة لهذه البارامترات ومقارنتها مع بعضها البعض. بما أن الدراسة تتم لنظام اتصال يجب مراعاة استمرارية عمل الدارة للإرسال و الاستقبال في نفس الوقت وعدم قطع الاتصال في أحد الاتجاهات و مراعاة أن إشارة الصدى هي إشارة من نفس طبيعة الإشارات المرسلة والمستقبلة (أثناء الاتصال الهاتفي إشارة الصدى هي إشارة كلامية).

تم إجراء البحث في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات في العام الدراسي 2006 م–2007م.

العوامل التي تؤثر على جودة نظام الاتصال الهاتفي:

لدى تبادل المكالمات الهاتفية يتم تقييم نوعية الإشارة المستقبلة من خلال مجموعة من المؤشرات يمكن إيجازها بمايلي:

- شدة الصوت.
- وضوح الصوت.
- الفكرة الواردة .

كما يمكن تحديد أسباب تدني جودة الإشارة الهاتفية بما يلي:

- ضجيج صوتي.
- ضجيج قناة الاتصال.
- الفواصل الزمنية القصيرة.
- التجهيزات الثابتة (مثل الأجهزة و المعدات الموجودة في المقسم).
- انعكاس الإشارة.
- إشارات أخرى والتي يمكن أن تظهر ضمن قناة الاتصال.

تتكون المكالمة الهاتفية من مجموعة من الأفكار والجمل مفصولة بفواصل زمنية، يمكن أن تحتوي الجملة على كلمة أو عبارة أو مجموعة من العبارات التي تمتد لبضع ثوان أو مئات الثواني. من العوامل التي تحدد جودة نظام الاتصال هي الوثوقية و الوضوح و لكن من الممكن أحياناً أن تظهر إشارات معيقة للوثوقية والوضوح هي إشارات الصدى .

1- ظاهرة الصدى:

الصدى هو ظاهرة من الظواهر التي نلحظها أثناء الاتصال، والتي تؤثر على نوعية الاتصال. وهذه الظاهرة هي عبارة عن نسخة من الإشارة المرسلة (صوت المشترك الذي يتحدث) التي تنعكس باتجاه المتحدث نفسه نتيجة عدم التلاؤم والتوافق في مكونات النظام و طول قناة الاتصال بين المرسل و المستقبل. يستقبل المرسل الإشارة التي أرسلها وكأنها إشارة من المتحدث الآخر. إذا كانت قيمة الصدى كبيرة من الممكن أن يسمع أحد المشتركين نسخة مشوهة من صوته مع إشارة المتحدث الآخر مما يؤثر على وضوح الاتصال و بالتالي عدم وثوقية الاتصال. يكون عادة الزمن بين إرسال إشارة المتحدث و سماع إشارة الصدى صغير جداً لدرجة أننا لا نلحظ إشارة الصدى ولكن إذا كان الزمن أكبر من (30ms) من الممكن أن نسمع إشارة الصدى كصوت خفيف. و لكن إذا زاد التأخير عن (30 ms) فسوف يسمع المشترك نسخة مشوهة من حديثه وتصبح نوعية المكالمة سيئة من حيث وضوح الاتصال[1].

إذا كان التأخير حوالي (500 ms) أو أكثر فسوف يسمع المتحدث كلمة كاملة كإشارة صدى. كلما زادت المسافة بين المشتركين (زاد طول قناة الاتصال) تحتاج الإشارة لزمن أكبر للانتقال من أحد المشتركين إلى الآخر.

1-1- ظاهرة الصدى عند استخدام الأقمار الصناعية:

يتم استخدام الاتصال عبر الأقمار الصناعية عند وجود البعد الجغرافي الكبير بين المشتركين لتعذر إقامة الاتصال عبر الكابلات. إن الإشارة المرسلة عبر الأقمار الصناعية تسير بسرعة الضوء

(186,000 miles per second) و يكون القمر الصناعي ضمن المدار الأرضي على بعد (23,800mile) عن سطح الأرض. انتقال الإشارة من المحطة الأرضية الأولى (المرسلة) إلى المحطة الفضائية

(عبر الوصلة الصاعدة) ومن ثم انتقال الإشارة من المحطة الفضائية (عبر الوصلة الهابطة) إلى المحطة الأرضية الثانية (المستقبلة)يستغرق فترة زمنية تقدر بـ (250 ms) إن هذا التأخير الزمني يسبب نشوء إشارات الصدى[1].

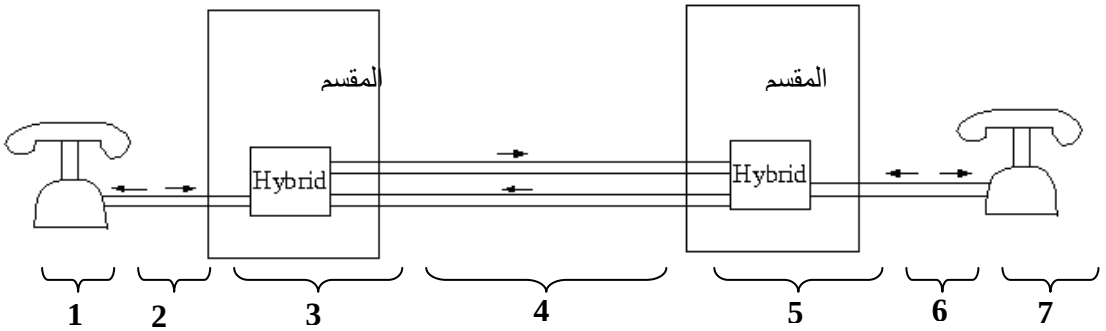
2-1- ظاهرة الصدى عند استخدام الكابلات الضوئية أو النحاسية كقناة اتصال:

يكون التأخير الزمني أقل عندما تكون قناة الاتصال بين المشتركين هي كابلات ضوئية أو نحاسية، ولكن يظهر سبب آخر لانعكاس الإشارة وظهور إشارات الصدى هو بسبب الأجهزة التي تتم بها معالجة الإشارة والمكررات الموجودة ضمن قناة الاتصال ووجود عدم تلاؤم بالممانعات نتيجة وصلات النظام الهاتفي. تستخدم معظم الهواتف قناة بخطين (2-wire)، لكن الهاتف يتم وصله ببقية الدارة بواسطة مهجن (hybrid) إلى قناة بأربع خطوط (4-wire)، التي يتم عبرها إرسال واستقبال الإشارة عبر بقية الدارة، و بسبب استخدام هذا المهجن ضمن دارة نظام الاتصال فإنه ينشأ عند نقطة الوصل عدم تلاؤم بالممانعات يسبب انعكاس جزء من الإشارة إلى المرسل. و يسمى الصدى الذي يظهر في هذه الحالة بالصدى الهجين (Hybrid Echo).

يوجد نوع آخر من الصدى يسمى بالصدى السمعي (Acoustic Echo). الذي يتشكل من الانعكاسات التي تتعرض لها الإشارة الكلامية نتيجة استخدام الهواتف المحمولة في الشارع أو في السيارة أو نتيجة استخدام السماعات في أماكن غير معزولة [1].

3-1-الصدى الهجين:

السبب الأساسي للصدى الهجين في الشبكة الهاتفية العامة (PSTN) هو عدم تلاؤم الممانعات أثناء وصل دارة المهجن، التي تقوم بتحويل الوصل ضمن نظام الاتصال من خطين (2-wire) إلى أربع خطوط (4-wire) كما هو مبين بالشكل(1) ، يتم هذا التحويل لأن الدارة التي يتم عبرها وصل المشترك بالمقسم هي (2-wire) و الدارة التي تصل بين المقاسم هي(4-wire) فنتيجة هذا التحويل يظهر الصدى، وذلك في الأحوال التي يتم استخدام الدارات التمثيلية فقط. أما في حال استخدام الدارات المختلطة (تشابهية & رقمية) مثلاً إجراء اتصال عبر شبكة الانترنت من حاسب(يستخدم تقنية معالجة الإشارة الرقمية) إلى هاتف (يستخدم تقنية معالجة الإشارة التشابهية) ، مع العلم أن قناة الاتصال المستخدمة هي ذاتها الشبكة الهاتفية ذات قنوات الاتصال التشابهية فإن الدارات التي تستخدم من أجل تحويل الإشارة الرقمية إلى تشابهية وبالعكس تسبب أماكن وصلها في الدارة انعكاس للإشارات نتيجة عدم تلاؤم الممانعات يظهر هذا الانعكاس على شكل إشارات الصدى[2] .



الشكل(1) مخطط توضيحي يظهر طريقة الوصل بين المقاسم

1 : جهاز الهاتف للمشترك الأول.

2 : القناة الثنائية التي تربط بين المشترك الأول و المقسم.

3 : المقسم وضمنه دارة المهجن التي تحول الوصل بين القناة الثنائية و القناة الرباعية.

4 : القناة الرباعية الخطوط التي تقوم بالوصل بين المقاسم.

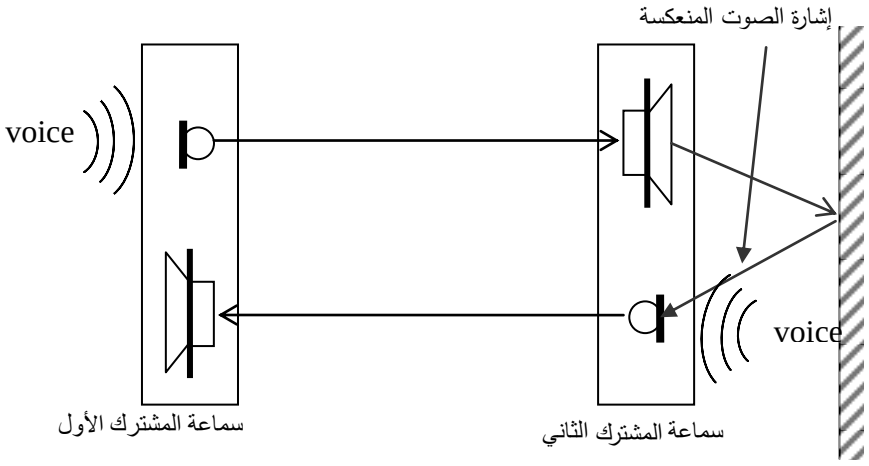
5 : المقسم وضمنه دارة المهجن التي تحول الوصل بين القناة الثنائية و القناة الرباعية.

6 : القناة الثنائية التي تربط بين المشترك و المقسم.

7 : جهاز الهاتف للمشترك الثاني.

4-1- الصدى السمعي:

يتولد الصدى السمعي في الأنظمة التشابهية والرقمية على حد سواء وتعتمد قيمته على جودة التقنيات المستخدمة. ويظهر بشكل خاص عند تواجد المرسل في الأماكن المغلقة وعند استخدام الهواتف النقالة. لقد تبين أنه يتولد بواسطة الكبل بين السماعة والمايكروفون في جهاز الهاتف أو هاتف لاسلكي، يَسمع الصوت عبر المكبر من قبل المستمع ونفس الصوت يعاد إرساله بالسماعة للاتجاه الآخر وكذلك الصوت المنعكس من الوسط المحيط كما هو مبين بالشكل (2) حيث أنه قد تم تمثيل الانعكاس كانعكاس الصوت عن الجدار، لذلك فان المشترك الأول في بداية الحديث يسمع الجملة الأولى التي أرسلها المشترك الثاني بوضوح ولكن نتيجة تعرض هذه الجملة للانعكاس يعاد إرسالها مع إشارة المشترك الأول وهكذا يعود ويسمع المشترك الثاني نسخة مشوهة من صوته مع الإشارة المرسلة إليه من المشترك الأول. يتولد الصدى المتعدد المسارات أو ما يسمى الصدى السمعي نتيجة هذه الانعكاسات. للتخلص من هذا الظاهرة يجب أن تكون السماعات المستخدمة ذات جودة و تقنية عالية و أن يتم استخدام مزيل للصدى في هذه السماعات [2] .



الشكل(2) رسم تخطيطي يظهر الصدى السمعي

الطرق المتبعة لإزالة إشارة الصدى:

تستخدم طريقتان أساسيتان لإزالة إشارة الصدى هما:

- كابت الصدى (Echo Suppressors).
- مزيل الصدى (Echo Canceller).

1- كابت الصدى(Echo Suppressors):

هذا الجهاز هو من أول الأجهزة التي استخدمت من أجل حذف إشارة الصدى من الاتصال. يقوم بكبت الإشارات القادمة من المستمع إلى المتكلم، ذلك عن طريق إنشاء قناة اتصال ذات اتجاه واحد. تعتمد تقنية هذا الجهاز

على أن المشتركين أثناء الاتصال لا يتحدثان في نفس الوقت. فإذا كان المشترك الأول يتحدث فإن هذا الجهاز يقوم بكبت أي إشارة قادمة من المشترك الثاني لأنه يعتبرها إشارة صدى، وذلك عن طريق استخدام دارة منطقية تقوم بالمقارنة من أجل فتح دارة الإرسال في أحد الاتجاهين. لكن هذه الطريقة تسبب ضياع جزء من معلومات الاتصال لأن أحد المشتركين يمكن أن يتحدث قبل أن ينهي المتحدث الآخر كلامه وبالتالي يجب الاتجاه إلى طريقة أخرى من أجل عملية إزالة الصدى وهي مزيل الصدى المشروح لاحقاً [1] .

2- مزيل الصدى(Echo Canceller):

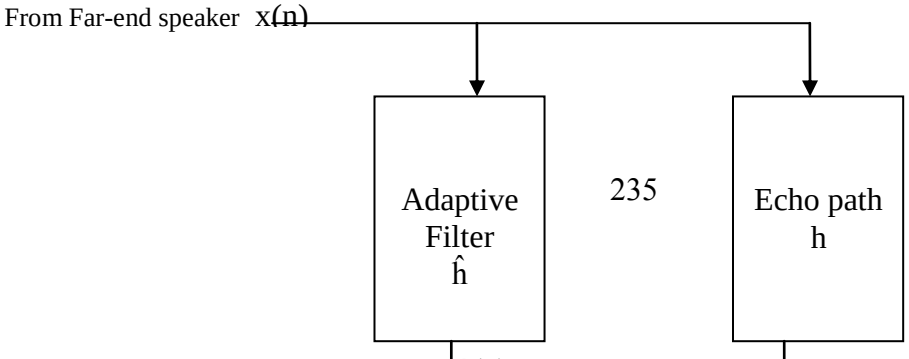
مزيل الصدى هو الطريقة العامة المستخدمة في إزالة إشارة الصدى من الاتصال الهاتفي. يحذف مزيل الصدى إشارة الصدى دون أن يوقف الاتصال بأحد الاتجاهات. تعتمد هذه التقنية بشكل عام على استخدام جهاز خاص يوضع في دارة الاتصال والذي يصمم اعتماداً على المبدأ التالي:

حالما يبدأ الاتصال يقوم هذا الجهاز بحفظ نسخة من الإشارة المرسلة ثم يقوم بمقارنتها مع الإشارة المستقبلة، وفي حال التطابق(تكون الإشارة المستقبلة هي نسخة عن الإشارة المرسلة فتكون هي إشارة الصدى) يعمل على حذفها. إن الجهاز الإلكتروني الذي يقوم بهذه العملية هو مرشح متكيف وستتم دراسة خواصه لاحقاً، تزيل هذه الآلية أكثر من 80% إلى 90% من الصدى عبر الشبكة. يجب استخدام عنصر أو دارة لمعرفة فيما إذا كان كلا المشتركين يتحدث من أجل استمرارية الحديث في كلا الاتجاهين(Double Talk Detector (DTD . ونحتاج أيضاً إلى معالجة غير خطية (Non Linear Processor)(NLP) تحذف الصدى المتبقي بإزالة الإشارة تحت مستوى إشارة الضجيج[1]. واعتماداً على هذا المبدأ نجد أن مزيل الصدى يجب أن يتكون مما يلي [3] :

- مرشح متكيف (Adaptive Filter) (AF) .
- كاشف الكلام ثنائي الاتجاه (Double Talk Detector)(DTD) .
- معالجة غير خطية (Non-Liner Processor)(NLP).

الدراسة التحليلية:

يبين الشكل (3) دارة الاتصال مع تمثيل الطريق الذي تسلكه إشارات المتحدثين مع إشارات الصدى:



الشكل (3) رسم تخطيطي لدارة الاتصال

حيث إن:

x(n): إشارة المتحدث في النهاية البعيدة Far-end speaker(FES).

v(n): إشارة المتحدث في النهاية القريبة Near-end speaker(NES).

y(n): إشارة الصدى.

d(n):إشارة السماعة.

e(n): إشارة الخطأ.

$\hat{h}(n)$: الاستجابة الترددية للمرشح.

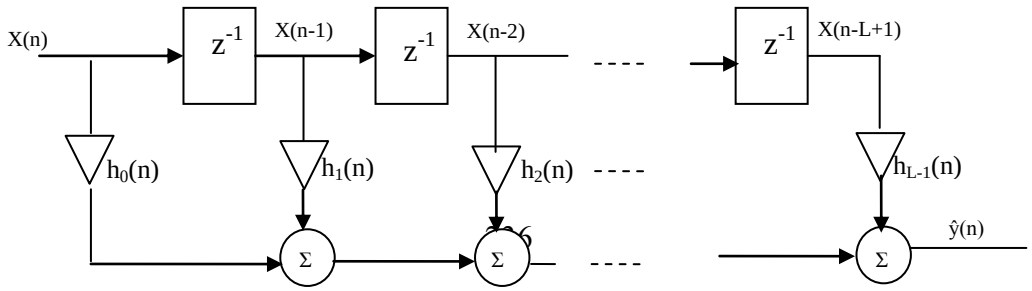
h(n): الاستجابة النبضية لإشارة الصدى.

$\hat{y}(n)$:الإشارة على خرج المرشح.

كما هو مبين في الشكل(3) يؤخذ نسخة الإشارة القادمة من المتحدث في النهاية البعيدة x(n) إلى المرشح المتكيف ذو الاستجابة الترددية $\hat{h}$ و تكون الإشارة على خرج المرشح هي$\hat{y}(n)$. أما النسخة الثانية من الإشارة x(n) تذهب إلى سماعة المتحدث الآخر و بعد أن تسمع تنتشر في الوسط ثم تنعكس لتعود و ترسل مع إشارة المتحدث الآخر، و هذه الإشارة المنعكسة هي إشارة الصدى و تم تسميتها y(n) و ندعو الطريق الذي سلكته هذه الإشارة طريق الصدى(echo path)، تضاف هذه الإشارة إلى إشارة المتحدث في النهاية القريبة لترسل إلى المتحدث في النهاية البعيدة و هنا يبدأ عمل المرشح المتكيف للتخلص من إشارة الصدى، حيث يتم مقارنة الإشارة d(n) التي تمثل إشارة المتحدث في النهاية القريبة مضافاً إليها إشارة الصدى مع الإشارة على خرج المرشح وتطرح الإشارة على خرج المرشح من الإشارة d(n) و ترسل الإشارة الناتجة إلى المتحدث في النهاية البعيدة.

1-المرشح المتكيف :

يبين الشكل (4) بنية المرشح:



الشكل(4)بنية المرشح المتكيف

نجد من الشكل (4):

تكون الإشارة على خرج المرشح $\hat{Y}(n)$ وهي إشارة الصدى المتوقعة:

$$\hat{Y}(n)=x(n)*h_0(n)+x(n-1)*h_1(n)+\ldots\ldots\ldots+x(n-L+1)*h_{L-1} \quad (1)$$

$$\hat{y}(n) = \sum_{i=0}^{L-1} h_i(n)x(n-i) \quad (2)$$

$$(n)= h(n)^T x(n) \quad (3)$$

أما إشارة الصدى الحقيقية فهي تكون نتيجة تعرض الإشارة المرسلة x(n) للمؤثرات الخارجية و من ثم انعكاس هذه الإشارة ليعاد إرسالها في السماعة. ومن المشاكل التي تواجهنا هي أن إشارة الصدى ليست إشارة ثابتة لذلك يتم وصف (h) بالشكل التالي:

$$h^0 = [h^0(0), h^0(1),\ldots. h^0(N-1)] \quad (4)$$

حيث إن:

h^0: تمثل الاستجابة النبضية لإشارة الصدى.

N: طول الاستجابة النبضية لإشارة الصدى.

و يتم وصف x(n) بالمعادلة التالية:

$$x(n)=[x(n),x(n-1),\ldots x(n-N+1)]^T \quad (5)$$

و بالتالي تصبح d(n) بالشكل التالي:

$$d(n)=x(n)^T h^0+v(n),\ n=0,1,2,\ldots..,L-1 \quad (6)$$

$$d(n)=x(n)*h^0(n)+v(n)=\sum_{i=0}^{N-1} h^0(i)x(n-i)+v(n) \quad ,n=0,1,2,\ldots..,L-1 \quad (7)$$

حيث إن:

$x(n)^T$:يعبر عن منقول المصفوفة x(n).

L: العدد الإجمالي لعينات الإشارة المتاحة.

استناداً إلى الشكل (3)تضاف إشارة الصدى y(n) إلى إشارة المتحدث في النهاية القريبة v(n). ثم تطرح إشارة خرج المرشح $\hat{y}(n)$ فتكون النتيجة بالشكل التالي:

$$e(n)=d(n)-\hat{y}(n) \quad (8)$$

$$e(n)= y(n)+v(n)-\hat{y}(n) \quad (9)$$

في الحالة المثالية تكون e(n)=v(n) أي يتم التخلص نهائياً من إشارة الصدى. غير ذلك يكون لـ$y(n)-\hat{y}(n)$ قيمة وكلما كانت هذه القيمة أصغر كلما كان تأثير الصدى على الاتصال أقل لذلك يتم السعي لجعل هذه القيمة أصغر ما يمكن، سيتم إتباع خوارزمية لتصغير هذه القيمة هي خوارزمية التربيعات الصغرى

.[4,3] (Normalized Least Mean Square) (NLMS)

هذه تقوم هذه الخوارزمية بتصغير قيمة الخطأ عن طريق تربيعه:

$$J=|e(n)|^2=|d(n)-\hat{y}(n)|^2 \quad (10)$$

حيث أن :

J: قيمة الخطأ.

و قد حددت اللوائح الدولية للاتصالات صيغة التكيف كما يلي [3]:

$$h(n+1)=h(n)+\frac{\mu}{\delta+x(n)^T x(n)}e(n)x(n) \quad (11)$$

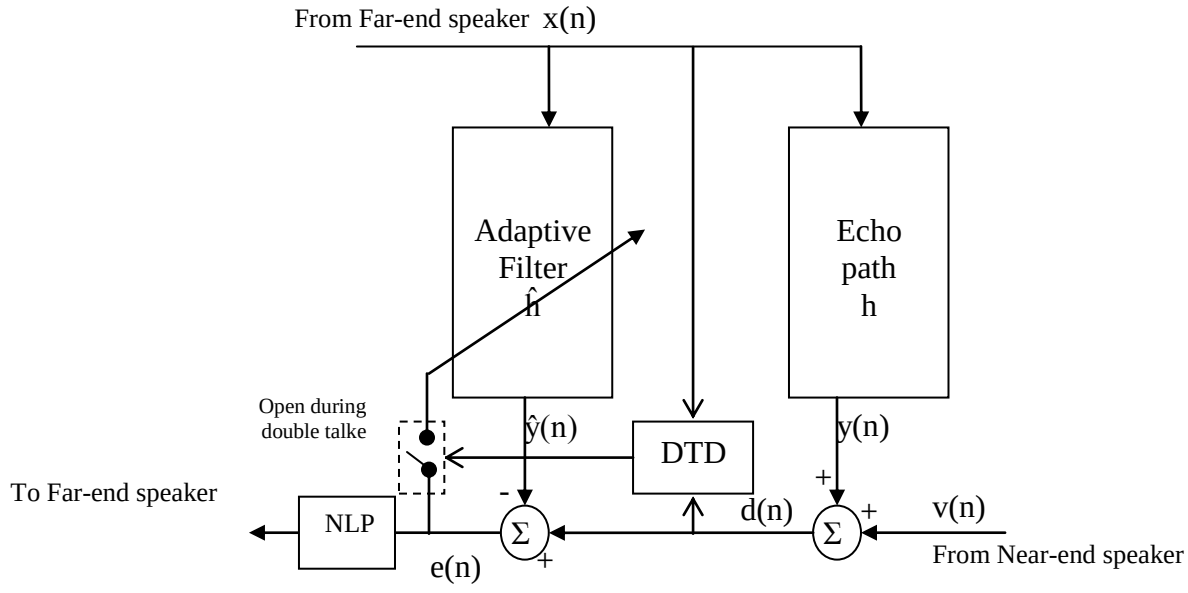
حيث تشير h(n) إلى إشارة الصدى المتوقعة خلال الأزمنة n.

δ :هي رقم موجب صغير δ<<1.

μ:عدد موجب ثابت يجب أن يحقق المتراجحة 0< μ< 2 ويدعى حجم الخطوة [3].

2-كاشف الكلام ثنائي الاتجاه:

من البارامترات التي تميز أداء مزيل الصدى هو أداؤه أثناء وجود محادثة في الاتجاهين، أي كلا المشتركين يتحدث بنفس الوقت. وبالتالي من الضروري وجود ميزة كشف الكلام في الاتجاهين ضمن دارة مزيل الصدى، لهذا يجب وضع عنصر الكتروني يقوم بهذه العملية. كما هو مبين بالشكل(5):



الشكل (5) رسم تخطيطي لدارة الاتصال مع كاشف الكلام الثنائي وأداة المعالجة غير الخطية

حيث تتم برمجة كاشف الكلام الثنائي لكشف الحديث في كلا الاتجاهين معطياً إيعازاً لمزيل الصدى بعدم كبت الإشارة القادمة من الطرف الآخر إلا إذا كانت إشارة صدى. و لهذا الغرض تم استخدام خوارزمية تدعى (Geigel

(Algorithm و هي خوارزمية لكشف الكلام ثنائي الاتجاه، حيث أنه يتم الكشف عن الكلام الثنائي حسب المعادلة التالية :[6,5]

N :ثابت

$$\alpha = \frac{\max\{|\ x(t)\ |, \ldots, |\ x(t - N + 1)\ |\}}{|d(n)|} \prec T \qquad (12)$$

عند تحقق هذه المعادلة يكون كلا المشتركين يتحدث.

إذا كانت α محققة للمعادلة التالية:

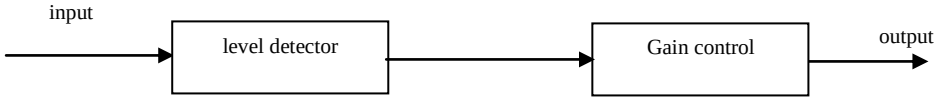
$$\alpha = \frac{\max\{|\ x(t)\ |, \ldots, |\ x(t - N + 1)\ |\}}{|d(n)|} \succ T \qquad (13)$$

فإن الإشارة المستقبلة ستكون إشارة صدى والمشترك الآخر في الطرف الآخر لا يتحدث.من هنا نجد أنه تبعاً لهذه الخوارزمية تتم مقارنة إشارة الميكرفون و إشارة متحدث النهاية البعيدة .

يتم اختيار قيمة T بشكل تجريبي. لنأخذ قيمة T=2 بفرض أن تخميد المهجن هو 6dB وتكون T= $\sqrt{2}$ إذا كان تخميد المهجن 3dB. و ذلك مع الأخذ بالاعتبار شدة إشارة المتحدثين و نسبة ضجيج قناة الاتصال وإشارة أي من المتحدثين هي أقوى من إشارة الصدى [6,5] .

3- المعالجة غير الخطية:

بعد أن يقوم المرشح المتكيف بإزالة الإشارة غير المرغوبة كما هو مبين بالشكل (5)، يستخدم العنصر اللاخطي من أجل إزالة الجزء المتبقي من المركبات غير المرغوب فيها .



الشكل (6) رسم تخطيطي للعنصر غير الخطي

كما هو مبين بالشكل (6) تتم مقارنة الإشارة على دخل الـNLP مع مستوى محدد و هو مستوى إشارة الضجيج المسموح و يمنع مرور الإشارات تحت هذا المستوى، و مستوى الضجيج المسموح هو الحد الذي يعطي أحد المشتركين إحساس بقاء المكالمة الهاتفية مستمرة حتى لو كان المشترك الآخر لا يتحدث.

4-ضياع الصدى العائد(Echo Return Loss) (ERL):

هو الضياع الذي تتعرض له إشارة الصدى وكلما كانت قيمته أكبر كلما كانت جودة الإشارة أكبر. ولقد حددت اللوائح الدولية للاتصالات القيمة النموذجية له بـ 6dB [7].

5- تحسين ضياع الصدى العائد(Echo Return Loss Enhancement) (ERLE):

يحدد مستوى الصدى الذي يسمع بعد أن يقوم مزيل الصدى بمعالجة الإشارة الصوتية ، و يعبر عن جودة أداء مزيل الصدى، و يقاس كنسبة استطاعة الإشارة y(n) إلى استطاعة الإشارة e(n) ، وكلما كانت قيمة هذه النسبة أكبر كلما كان أداء مزيل الصدى أفضل. و تعطى قيمته بالـdB.

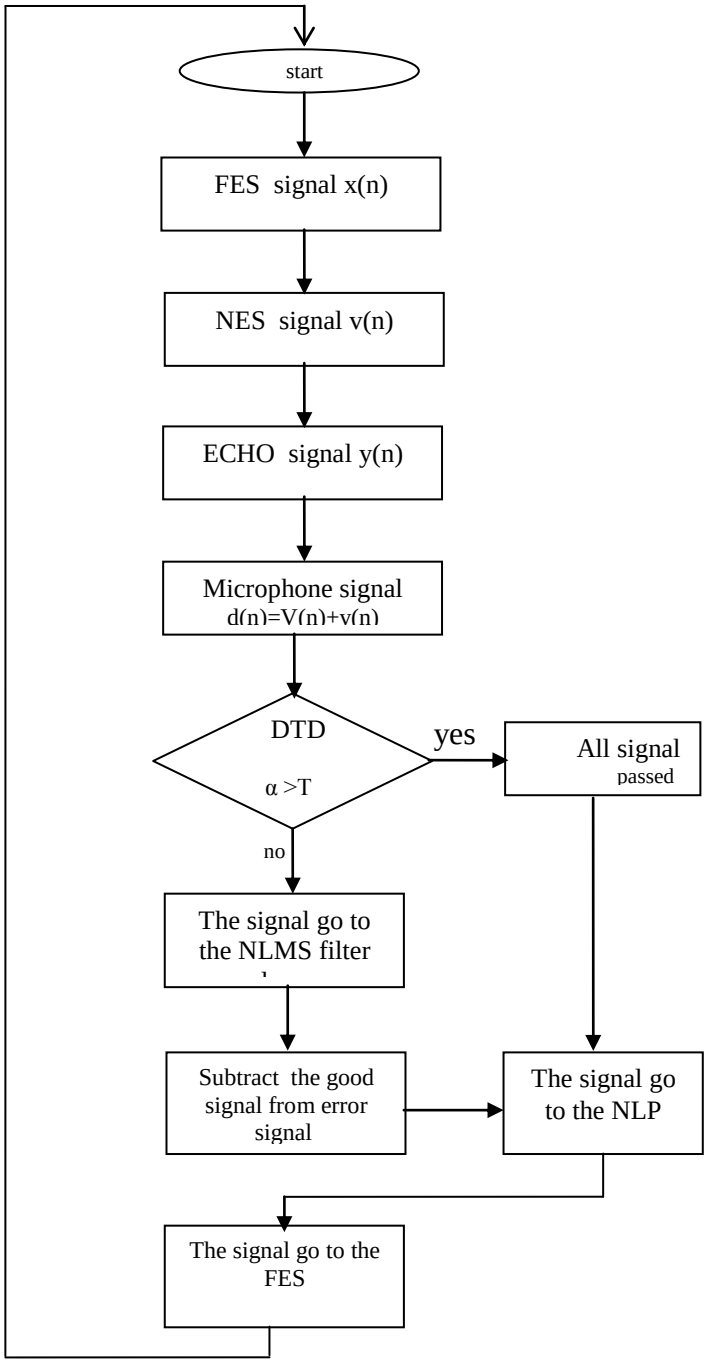
$$ERLE = 10\log_{10}\left(\frac{p_{y(n)}}{p_{e(n)}}\right) \qquad (14)$$

حيث إن:

$p_{e(n)}$: استطاعة الإشارة e (n).

$p_{y(n)}$: استطاعة الإشارة y (n).

خوارزمية العمل:

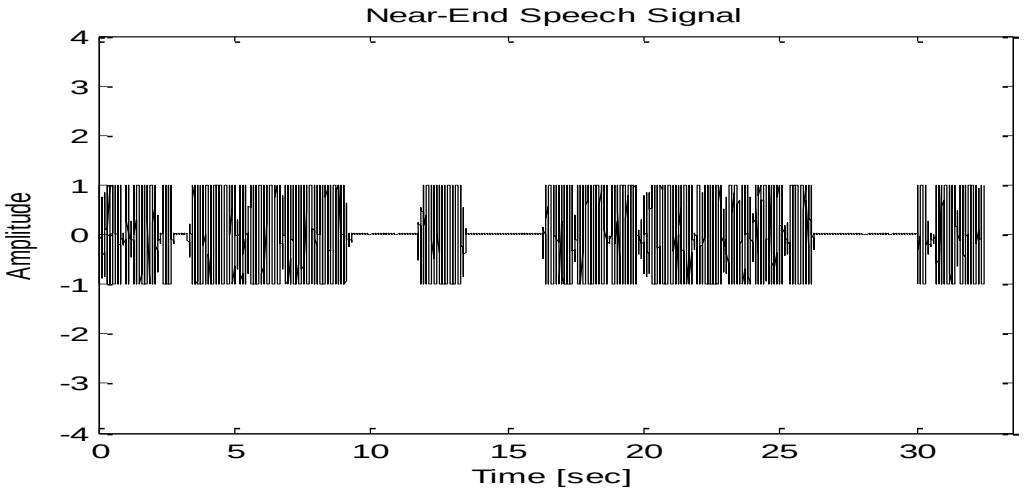


الشكل(7) المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة

تم تطبيق هذه الخوارزمية برمجياً باستخدام برنامج MATLAB وتم استخدام الجزء البرمجي أي نافذة الأوامر (command window). لما يقدمه هذا البرنامج من معالجة الإشارات الصوتية وتحويلها إلى مصفوفات يسهل التعامل مع عناصرها. حيث تم توليد مجموعة من الإشارات التي تمثل إشارة متحدث النهاية البعيدة

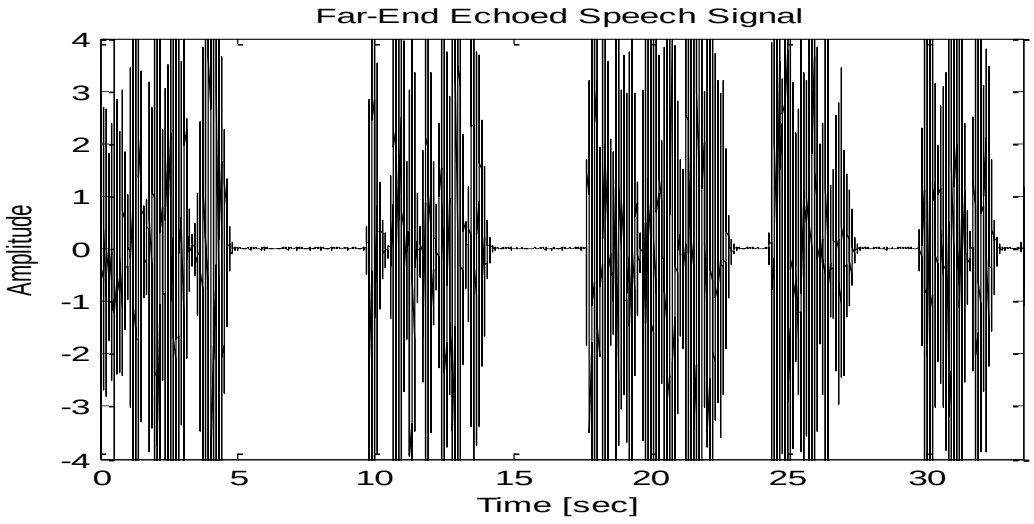
(Far End Speech)(FES) و إشارة متحدث النهاية القريبة (Near End Speech)(NES) و إشارة الصدى و تم دمج هذه الإشارات للحصول على إشارة الميكرفون[8].

يوضح الشكل (8) إشارة المتحدث في النهاية القريبة:



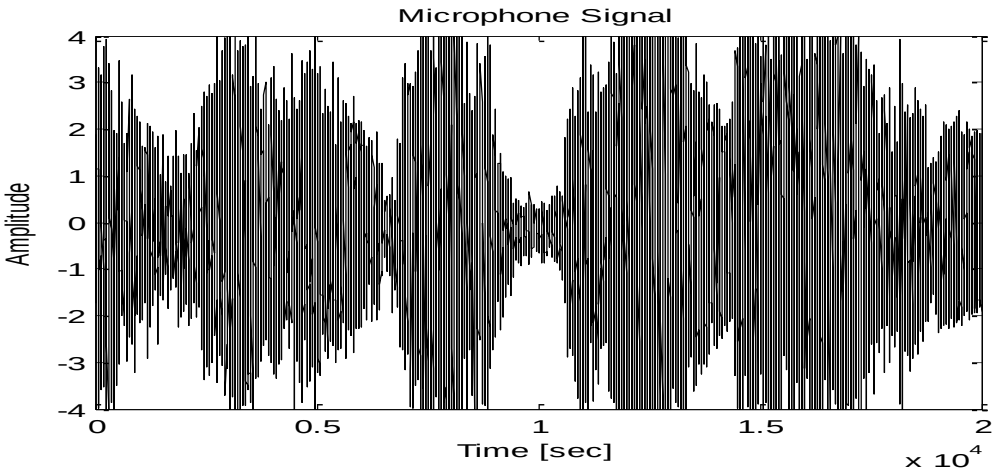
الشكل (8)إشارة المتحدث في النهاية القريبة(n)v

إشارة المتحدث القادمة من النهاية البعيدة يضاف إليها إشارة الصدى موضحة بالشكل (9):



الشكل (9) إشارة المتحدث في النهاية البعيدة بعد أن تعرضت للصدى(n)y

أما الإشارة التي تكون على مدخل السماعة فتكون عبارة إشارتي المتحدثين في النهاية البعيدة والنهاية القريبة و الموضحة بالشكل (10):

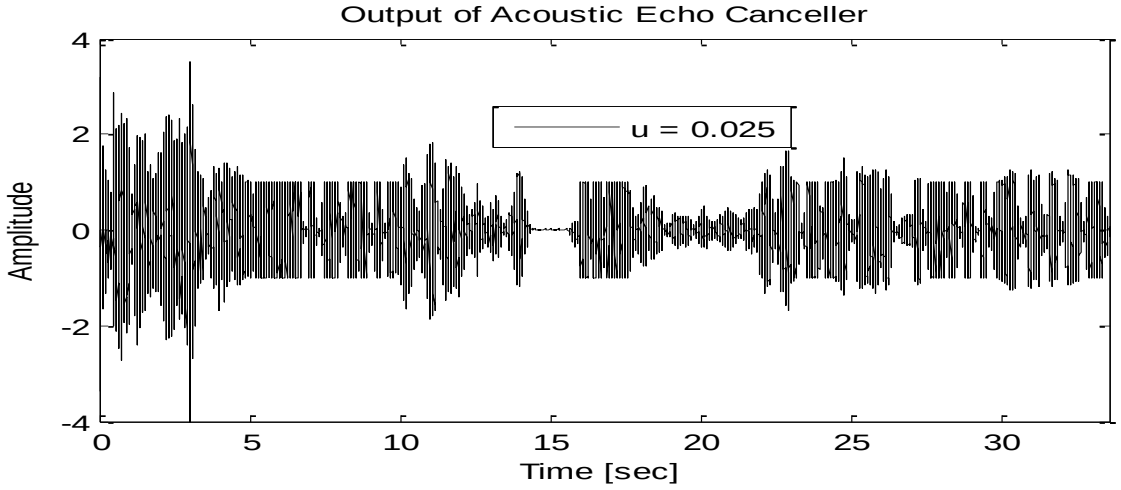


الشكل (10) إشارة السماعة d(n)

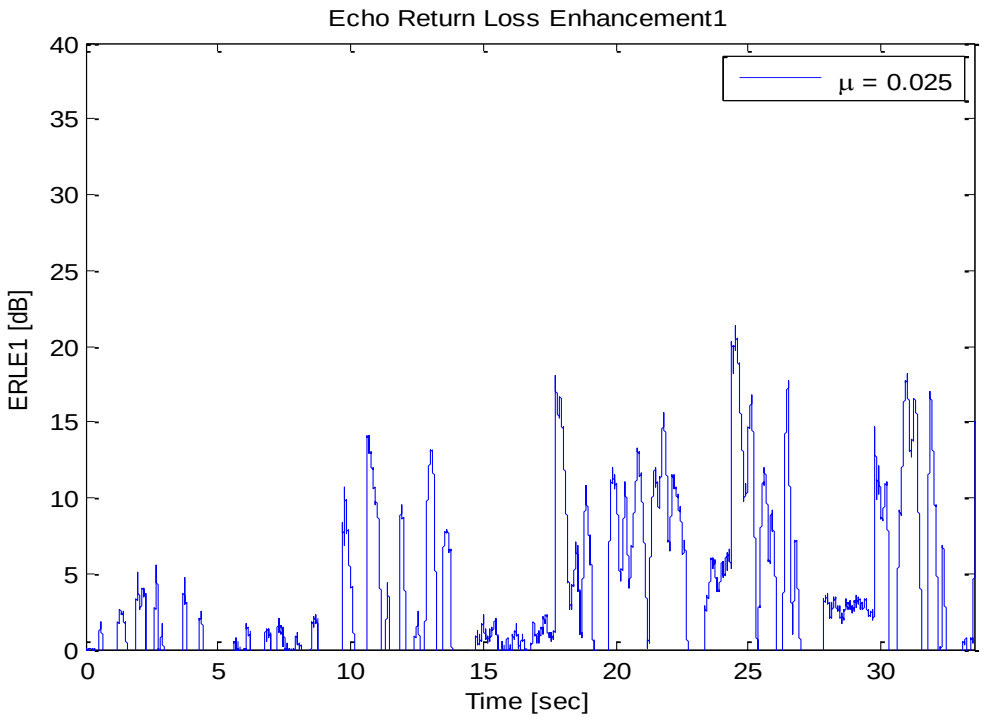
بعد ذلك يتم إدخال الإشارة إلى دارة مزيل الصدى،و ستتم مقارنة الإشارة على خرج مزيل الصدى من أجل قيم مختلفة لثابت الخطوة حيث أن قيمة $0<\mu<2$ كما حددتها اللوائح الدولية للاتصالات و سيتم مقارنة هذه النتائج و دراسة مدى تأثير قيمة ثابت الخطوة على قيمة (ERLE).

مع تحديد قيمة التردد بـ fs=8KHZ و المشترك في النهاية القريبة يتحدث أي v(n) لها قيمة :

الحالة الأولى: μ =0.025:

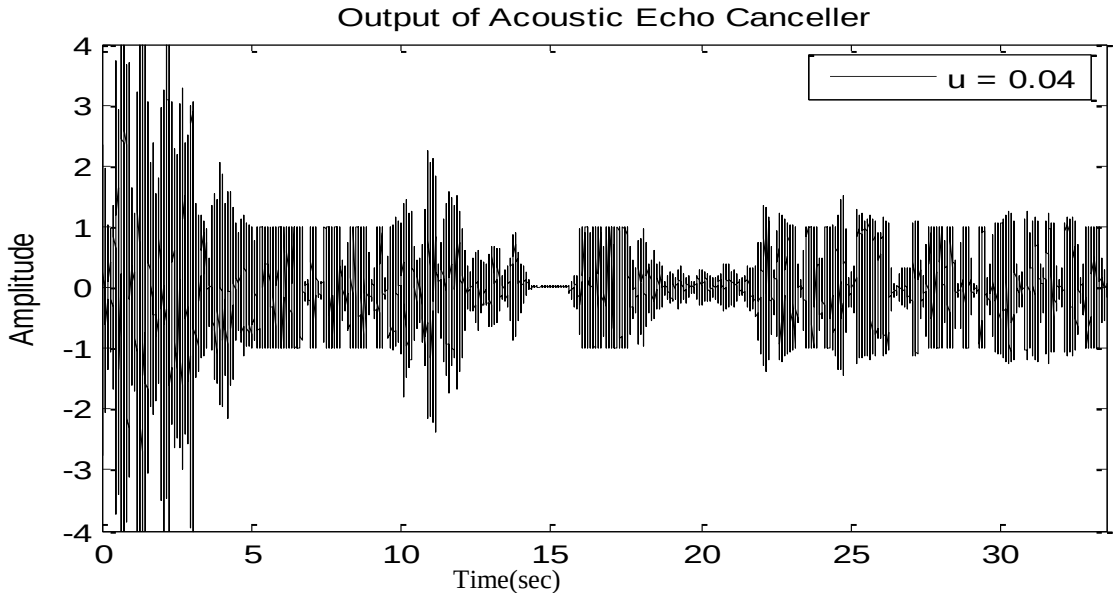


الشكل (11) خرج مزيل الصدى السمعي e(n)

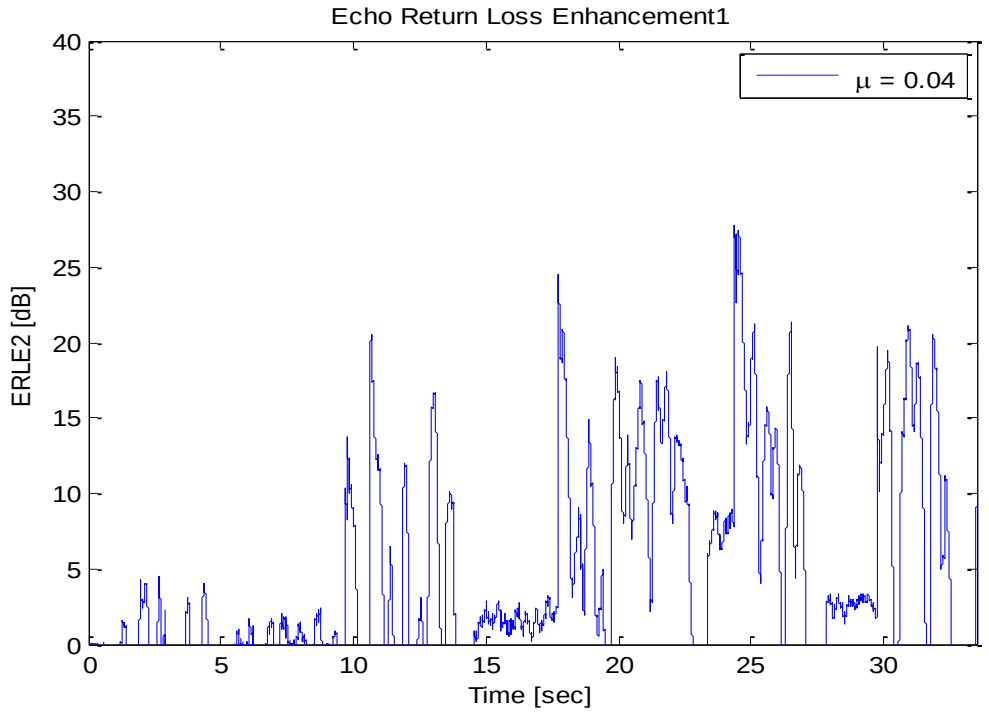


الشكل (12) علاقة ERLE مع الزمن

الحالة الثانية:μ=0.04:

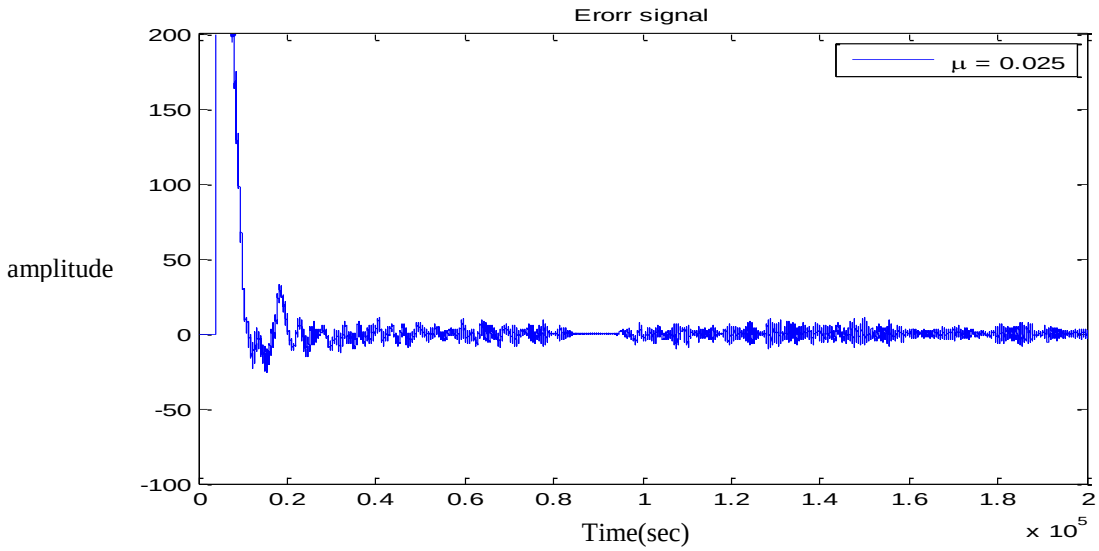


الشكل (13) خرج مزيل الصدى السمعي e(n)



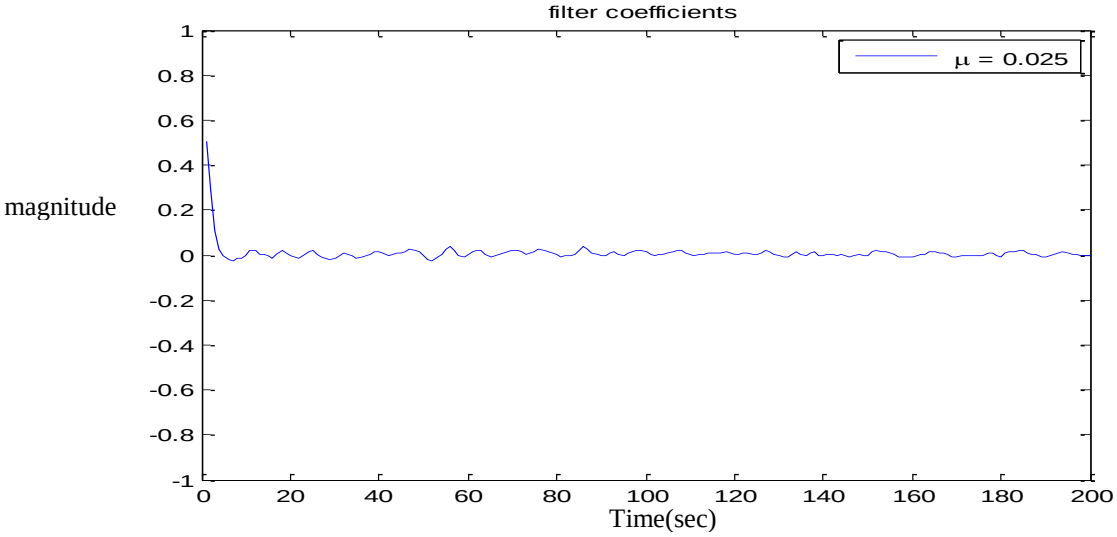
الشكل (14) علاقة ERLE مع الزمن

أما في حال كان المشترك في النهاية القريبة لا يتحدث أي v(n)=0 فتكون إشارة الخطأ و هي ذاتها الإشارة على خرج مزيل الصدى السمعي بالشكل التالي:

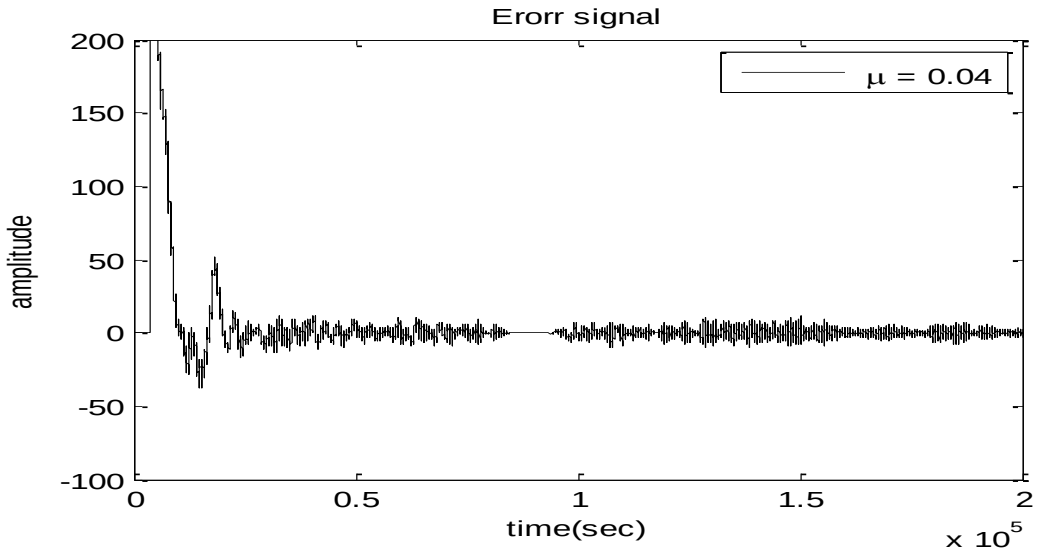


الشكل (15)إشارة الخطأ e(n)

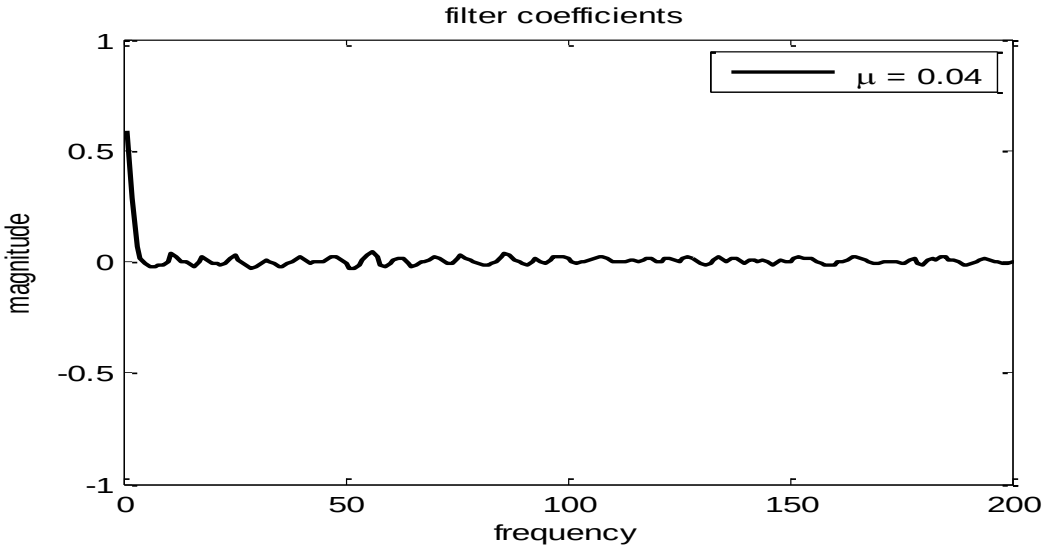
الإشارة التي تعبر عن الاستجابة الترددية للمرشح NLMS فتظهر بالشكل التالي:



الشكل (15) الاستجابة الترددية للمرشح



الشكل (16) إشارة الخطأ e(n)



الشكل (17)الاستجابة الترددية للمرشح

النتائج و التوصيات:

تم التوصل من خلال البحث إلى نتائج تساعد في التخلص من إشارة الصدى بعد التأكد من أن الصدى ظاهرة معيقة للاتصال لا بد من معالجتها، وذلك من أجل ضمان جودة الاتصال. بعد تنفيذ الخوارزمية كبرنامج بلغة الـ MATLAB ومقارنة النتائج تم التوصل إلى ما يلي:

1-يجب اختيار نوع مناسب من المرشحات لأنه عند تغيير حجم خطوة المرشح المقترح μ يتم الحصول على نتائج مختلفة و قد بينت النتائج أنه كلما كانت قيمة μ أصغر كلما كانت الإشارة على خرج المرشح أفضل.

2-عند مقارنة المخططات التي تعبر عن علاقة ERLE بالزمن ومقارنتها مع إشارات خرج المرشح نجد أنه من أجل قيم لـ ERLE الكبيرة تكون الإشارة أفضل كمثال على ذلك الشكلان (8,10).

3-عندما تكون قيمة ERLE أصغر من 6dB وهو الرقم الذي حددته اللوائح الدولية للاتصالات نجد أن التشوه يكون تأثيره أكبر على الإشارة و بالتالي يجب اختيار قيمة ERLE أكبر من 6dB لإزالة الصدى المتوقع.

4- من أجل الحصول على إشارة جيدة لا بد من استخدام مزيل الصدى و خاصة عند إجراء المكالمات الدولية حيث تكون قناة الاتصال طويلة و يصبح احتمال حدوث التأخير و الانعكاس كبيراً.

5-يمكن مقارنة النتائج التي حصلنا مع نتائج أخرى يتم الحصول عليها باستخدام خوارزميات أكثر تطوراً مثلاً (Proportionate Normalized Least Mean Square)PNLMS.

المراجع:

1- INTELSAT Digital Satellite Communication Technology. Revision 2,Aprile 1995.

2- WALLIN ,F. *Combining Acoustic Echo Cancellation and Suppression*, Linkoping University, Sweden ,October 2003. pp,71.

3-International Telecommunication Union (ITU) "Digital network echo canceller "Recommendation ITU-T,G.168.

4- FARHANG,B, *Adaptive Filters: Theory and Applications*, Chichester, England, Wiley, 1998

5- BENESTY, D.R. MORGAN and J.H. CHO, "*A New Class of Doubletalk Detectors Based on Cross-correlation*", IEEE Trans. Speech Audio Processing, vol. 8, pp. 168-172, March 2000.

6- BENESTY, T. GANSLER, D.R. MORGAN, M.M. SONDHI and S.L. GAY, "*Advances in Network and Acoustic Echo Cancellation*", Springer-Verlag, 2001.

7-International Telecommunication Union (ITU) "Application of the E-model :A planning guide "Recommendation ITU-T,G.108.

8-"Matlab Real Time Workshop; User's Guide," *The Mathworks Product Documentation.* 5/7/2007,<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/helpdesk.shtm>

ملـحق

شرح أهم الخطوات التي يقوم بها البرنامج

```
%the near-end speech signal v(n)
savefile = 'test1.mat';
fs=8000;
x=wavread('gg');
save(savefile, 'x','fs')
plot(x)
savefile = 'near-end speech. mat';
fs=8000;
%g: wave file
v=wavread('g');
p1 = audioplayer(v,fs);
playblocking(p);
save(savefile, 'v', 'p1','fs')
n = 1:length(v);
t = n/fs;
plot(t,v);
axis([0 33.5 -4 4]);
xlabel('Time [sec]');
ylabel('Amplitude');
title('Near-End Speech Signal');
```

```
%the far-end speech signal x(n)
savefile = 'Far end speech. mat';
fs=8000;
%gg: wave file
v=wavread('gg');
p8 = audioplayer(v,fs);
playblocking(p8);
save(savefile, 'v', 'p8','fs')
load Far end speech
x = x(1:length(x));
d= filter(H,1,x);
t =(1:length(x))/fs;
plot(t,d);
axis([0 33.5 -4 4]);
xlabel('Time [sec]');
ylabel('Amplitude');
title('Far-End Echoed Speech Signal');
set(gcf, 'Color', [1 1 1])
p2 = audioplayer(d,fs);
playblocking(p2);
```

```
%Microphone Signal
fff=length(v)
s=dhat(1:length(v));
ss=0.001*randn(length(v),1);
f=length(s)
ffff=length(ss)
g=s+v;
d=ss+g;
subplot(3,3,3)
r=1:length(d);
```

```
rr=r/fs;
plot(r,d);
axis([0 2*10^4 -4 4]);
xlabel('Time [sec]');
ylabel('Amplitude');
title('Microphone Signal');
set(gcf, 'Color', [1 1 1]);
```

%NLMS algorithm

```
fs = 8000;
function [e,h]=nlms(μ,L,x,d,δ);
% Normalized LMS
% Call:
% [e,h]=nlms(μ,M,x,d,δ );
%
% Input arguments:
% μ = step size, dim 1x1
% L = filter length, dim 1x1
```

% x = input signal, dim Nx1

% δ = constant, dim 1x1

```
% Output arguments:
% e = estimation error, dim Nx1
% h = final filter coefficients, dim Mx1
%intial value 0
w=zeros(L,1);
%input signal length
N=length(u);
%make sure that u and d are colon vectors
x=x(:);
d=d(:);
%NLMS
for n=L:N
uvec=u(n:-1:n-M+1);
e(n)=d(n)-w'*xvec;
h=h+μ /(δ +xvec'*xvec)*xvec*conj(e(n));
```

end

%ERLE

```
function [a]=erle(e,y);
% Call:
% erle=erle(e,y);
% Input arguments:
% e = residual echo, dim Nx1
% y = hybrid output signal, dim Nx1
% Output arguments:
% erle = ERLE(n) in dB, n=1..N, dim Nx1
erle1=filter(Hd2,(e-
v(1:length(e))).^2)./(filter(Hd2,dhat(1:length(e)).^2));
erledB1 = -10*log10(erle1);
subplot(3,3,5);
plot(t,erledB1);
axis([0 33.5 0 40]);
xlabel('Time [sec]');
ylabel('ERLE1 [dB]');
title('Echo Return Loss Enhancement1');
```