Journal of Engineering Sciences and Information Technology
Volume (4), Issue (2): 30 June 2020
P: 44 - 54

ISSN: 2522-3321

مجلة العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات
المجلد (4)، العدد (2): 30 يونيو 2020م
ص: 44 - 54

Using adaptive filter as a notch filter to cancel adjacent channel interference in cellular systems

Farah Tawfek Jneikeh

Yaser Emleh

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering || Al-Baath University || Homs || Syria

Haitham Alradwan

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering || Tishreen University || Lattakia || Syria

Abstract: Since the interference/noise signal characteristics such as amplitude, frequency and phase are variable over time and sometimes unknown, therefore, most wireless systems, especially cellular systems, have difficulty extracting the useful signal and its frequency from the distorted signal. So, an adaptive filter is used for this purpose, where its transmission function is adjusted according to an optimization algorithm and this enables it to adapt along with the change in the signal characteristics in order to reach the ideal filter coefficients that permit to reduce the error to the minimum. However, adaptive filter algorithms have evolved to allow the adaptive filter to function as a notch filter by tracking the unknown frequency of the interference signal from adjacent channels in an environment where there is no full knowledge of the signal characteristics. Thus, these algorithms initially estimate the sinusoidal frequency of the interference signal quickly and accurately and then update the filter coefficients using this estimation, and this contributes to remove the noise and the single/multiple narrowband interference from the broadband signal where the frequency response of the adaptive notch filter has sharp rejection characteristics at the notch frequency corresponding to the interference frequency to be removed.

Keywords: adaptive filter, notch filter, adjacent channel interference, LMS algorithm.

استخدام المرشّح المتكيّف كمرشّح شقوق لإلغاء تداخل القناة المجاورة في الأنظمة الخلويّة

فرح توفيق جنيكه

ياسر عملة

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية || جامعة البعث || حمص || سوريا

هيثم الرضوان

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية || جامعة تشرين || اللاذقية || سوريا

الملخّص: بما أنّ خصائص إشارة التّداخل/الضّجيج مثل المطال والتّردد والطّور متغيّرة مع الوقت وأحياناً غير معروفة لذلك تعاني معظم الأنظمة اللّاسلكيّة، وخصوصاً الأنظمة الخلويّة من صعوبة استخلاص الإشارة المفيدة وتردّدها من الإشارة المشوّشة، لذا يتمّ استخدام المرشّح المتكيّف لهذا الغرض؛ حيث يتمّ ضبط تابع نقله وفق خوارزميّة تحسين وهذا يمكنّه من التّكيّف مع التّغير في خصائص الإشارة من أجل الوصول إلى مركبات المرشّح المثاليّة التي تسمح بتقليل الخطأ إلى أدنى حدٍّ ممكن، فقد تم في هذا البحث تطوير خوارزميّات المرشّحات المتكيّفة بحيث تسمح للمرشّح المتكيّف بأن يعمل كمرشّح شقوق من خلال ملاحقة التّردد غير المعروف لإشارة التّداخل من

القنوات المجاورة في البيئة التي لا تتوافر فيها المعرفة الكاملة بخصائص الإشارة وبالتّالي تعمل هذه الخوارزميّات في البداية على تقدير التّردد الجيبي لإشارة التّداخل بسرعة ودقّة، ومن ثمّ تحدّث مركبات المرشّح باستخدام هذا التّقدير، وهذا يساهم في إزالة الضّجيج والتّداخل ضيّق الحزمة الوحيد والمتعدّد من الإشارة عريضة الحزمة حيث تكون الاستجابة الترّدديّة لمرشّح الشّقوق المتكيّف ذات خصائص رفض حادّة عند تردّد الشّق الموافق لتردّد التّداخل المراد إزالته.

الكلمات المفتاحيّة: المرشّح المتكيّف، مرشّح الشّقوق، تداخل القناة المجاورة، خوارزميّة LMS.

1- المقدّمة:

مرشّح الشّقوق بشكلٍ عامٍ هو مرشّح منع يمرّر القسم الأعظم من التّرددات دون تغيير ويخمّد في الوقت نفسه التّرددات الأخرى الموجودة في نطاق محدّد ضيّق إلى مستويات منخفضة جداً مشكّلاً شقّاً في استجابة الخرج للمرشّح، وبالتّالي يمكن اعتباره مرشّحاً ذا حزمة إيقاف (منع) ضيّقة جدّاً وذات تخميدٍ عالٍ مع عامل جودة Q مرتفع، أمّا مرشّح الشّقوق المتكيّف فيستخدم كنتيجة لخاصيّة تغيّر أو انزياح التّردد للإشارة غير المرغوبة بمرور الزّمن والتي تؤدّي إلى جعل تردّد الشّق غير معروف، وهذا ما يجعل استخدام النّوع المتكيّف من مرشّحات الشّقوق مطلوباً في هذه الحالة من أجل المحافظة على عرض حزمة الإشارة بدون تشوّه وإزالة التّداخل ضيّق الحزمة فقط عن طريق ترشيح الإشارات المترابطة باستخدام إشارة مرجعيّة[1].

إنّ أحد الجوانب المهمة لمنهجيّة مرشّح الشّقوق عند استخدامه في معالجة الإشارة هي قدرته الانتقائيّة العالية على التّخميد عند تردّد معيّن موافق لتردّد الشّق خلال مدّة استجابة عابرة قصيرة (منحنٍ حادّ) مع تخميد قليل جدّاً (لا يكاد يُذكَر) عند بقيّة التّرددات الأخرى، حيث تعمل الخوارزميّة المقترحة على تقدير تردّد الإشارة غير المرغوبة وتحدّث وفقاً لذلك مركّبات المرشّح من أجل تحقيق الأداء الأمثل، وبالتّالي يكون هذا النّوع مفيداً من أجل إزالة الضّجيج/التّداخل عند تردّد معيّن في الزّمن الحقيقي، كما يمكن استخدام مرشّح الشّقوق المتعدّد لتخميد إشارة الضّجيج/التّداخل الموجودة عند تردّدات مختلفة في آنٍ واحد.

عندما تكون حساسيّة المرشّح للتّحديث صغيرة جدّاً فهذا يؤدّي إلى عدم الاستقرار، كما أنّ القيمة الكبيرة لهذه الحساسيّة تؤدّي إلى انخفاض أداء الملاحقة، وهذا ما يجعل مرشّح الشّقوق التّقليدي مفيداً فقط بشرط بقاء التّردد ثابتاً، وفي مثل هذه الحالات فإنّه من الضّروري قياس تردّد التّداخل ببعض الطّرق بشكلٍ دقيقٍ ومن ثمّ تصميم مرشّح الشّقوق الثّابت المتمركز تماماً عند ذلك التّردّد، وهذا ما يجعل استخدام مرشّح الشّقوق الثّابت غير ممكن في التّطبيقات التي يسبّب فيها التّداخل الجيبي المتراكب على الإشارة الأصليّة انحرافاً بطيئاً في التّردّد، كذلك الأمر عندما يكون تردّد التّداخل غير معروف بشكلٍ دقيق ومتغيّر مع الزّمن وعرض حزمة مرشّح الشّق ضيّق جدّاً، فإنّ مركز الشّق قد لا ينطبق تماماً على تردّد التّداخل وسيفشل مرشّح الشّقوق الثّابت في إزالة التّداخل من الإشارة بل قد يؤدّي إلى إلغاء بعض مكونات التّردد الأخرى لها وبالتّالي تشوّهها و يساهم ذلك في زيادة مستوى الضّجيج[2,3].

لذلك يستخدم مرشّح الشّقوق المتكيّف ذو عرض حزمة التّداخل الضّيقة جدّاً (شقّ حادّ) ليرشّح التّداخل بدون إحداث تشوّه في الإشارة حيث أنّ الشّق الثّابت لا يمكن أن يعمل هنا على الإطلاق ما لم يتمّ تصميمه على مجال واسع بما فيه الكفاية من التّردّدات لتغطيّة الانحراف مع التّشوه الحاصل على الإشارة، ومن ناحية أخرى يكون المرشّح ذو عرض الحزمة الترددّية الكبيرة غير مرغوب لأنّه قد يؤثّر على إشارات أخرى لا نرغب بتخميدها.

يتفوّق مرشّح الشّقوق المولّف المتكيّف (ATWF: Adaptive Tunable Notch Filter) على مرشّح الشّقوق التّقليدي (ANF:Adaptive Notch Filter) في قدرته على تغيير تردّد الشّق وإمكانيّة توليفه على مجال التّردد الموافق لحدوث الضّجيج/التّداخل، وبالتّالي سيكون له القدرة على ملاحقة التّغيّرات التّرددية في إشارة الدّخل بدقّة والبحث

بشكل أوتوماتيكي عن إشارة التّداخل الموجودة عند تردّد معيّن حيث يتمّ ضبط استجابته التّرددية من أجل تحقيق خصائص مرشّح الشّق عند هذا التّردد لإزالة الإشارة غير المرغوبة، وهذا يسمح بزيادة نسبة الإشارة إلى الضّجيج (SNR: Signal to Noise Ratio)، وبالتّالي لجعل تشوّه الإشارة المرغوبة أقلّ ما يمكن فإنّ حزمة التّخميد لمرشّح الشّقوق المتكيّف يجب أن تكون ضيّقة قدر الإمكان وهذا يتطلّب تصميم شقّ ضيّق جدّاً ذي خصائصَ رفضٍ شديدة عند تردّد الشّق من أجل ترشيح التّداخل دون إحداث تشوّه في الإشارة، لكنّ السّيئة التي تعاني منها هذه المرشّحات المتكيّفة هي أنّ تخميدها عند تردّد الشّق يتغيّر أثناء عمليّة التّكيف، وبالتّالي فإنّ التّخميد القويّ بالدرجة المطلوبة لإشارة الضّجيج/التّداخل عند تردّد الشّق لا يكون مضموناً في جميع الأحيان بل نحصل على قيمته الفعليّة أثناء عمليّة التّكيف حيث يتمّ إرسال قيمة التّردّد اللّحظي إلى نظام التّرشيح ويستمّر ضبط تردّد الشّق وفقاً لتردّد الإشارة القادمة إلى الهوائي في الزّمن الحقيقي حتى الوصول إلى القيمة المطلوبة لتردّد المنع، كما يتمّ تحديد عرض حزمة المنع والتّخميد الأعظمي الممكن تحقيقه عند تردّد الشّق بالاعتماد على الحسابات المستخدمة أثناء تصميم المرشّح، لذلك تستند منهجيّة المعالجة الفعّالة على استخدام مرشّح الشّقوق المتكيّف ذي الاستجابة النبضيّة المحدودة (FIR: Finit Impulse Response) من النّوع المستعرض والذي يتميّز بعرض حزمته الضّيق جدّاً من أجل الحصول على عرض حزمة الشّق المثاليّة التي تسمح بتحقيق تخميد قويّ عند تردّد الشّق، وبالتّالي يعدّ مرشّح FIR المستعرض هذا الأفضل من حيث تحقيقه لطول المرشّح الأقصر المرتبط مع الخصائص التّرددية المطلوبة من المرشّح[4,5].

2- مشكلة البحث:

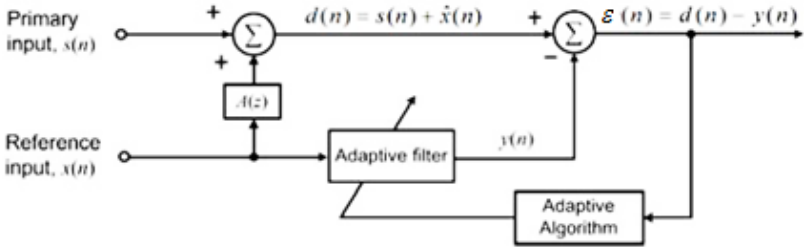
يعدّ الضّجيج والتّداخل من العوامل الرّئيسة التي تخفّض معدّل نقل البيانات، حيث تبقى هذه المشكلة ملازمة للنّظام الخلوي على مرّ أجياله، وبالتّالي هناك العديد من التّقنيات المستخدمة لتخفيض أثرهما في أجهزة الاستقبال الراديويّة يطبّق بعضها خلال استشعار الطّيف، بينما تطبّق تقنيّات أخرى على الإشارة المشوّشة المستقبلة خلال الاتّصال، وكمثال على هذه التّقنيات تطبيق خوارزميّات المرشّح المتكيّف التي تساهم في الحصول على معدّل نقل بيانات مرتفع من خلال معالجة الإشارة الرقميّة في الزّمن الحقيقي بشكل محسّن، لذا يعدّ المرشّح المتكيّف الحلّ الأفضل لتحسين حساسيّة المستقبل عند انخفاض نسبة الإشارة إلى التّداخل/الضّجيج حيث يمكنه معالجة المعطيات بدون معلومات مسبقة عن الإشارة المستقبلة، وبالتّالي يمكن استخدامه كمرشّح شقوق مولّف عند تردّد القنوات المجاورة للقناة المراد انتخابها وهذا يساهم في الحد من تأثيرها والحصول على إشارة نظيفة عند مدخل هوائي الاستقبال.

3- موادّ البحث وطرائقه:

3-1- مبدأ عمل المرشّحات المتكيّفة:

تتكوّن هذه الأنظمة من جزأين أساسيّين هما المرشّح المتكيّف وخوارزميّة المرشّح المتكيّف، وكما يظهر في الشّكل (1) لاغي الضّجيج المتكيّف (ANC: Adaptive Noise Cancellation) الذي يعمل كمرشّح متكيّف ثنائي المداخل يسمّى أحدهما: بالمدخل الأوّلي حيث يُزوّد بإشارة المعلومات والتّداخل/الضّجيج المترافق معها (وتسمّى الإشارة المرغوبة d(n))، والمدخل الآخر يتلقّى إشارة التّداخل/الضّجيج المرجعي التي يتمّ ترشيحها بواسطة المرشّح المتكيّف لإنتاج الخرج y(n) المشابه للضّجيج/التّداخل المضاف إلى المعلومات الأصليّة، وبالتّالي يتمّ طرح y(n) من d(n) لإنتاج خرج النّظام الذي يعرف بإشارة الخطأ $\varepsilon(n)$والتي تغذّي المرشّح المتكيّف مرّة أخرى وتتحكّم بالخوارزميّة المطبّقة

من أجل تغيير بارامترات المرشّح من اللّحظة n إلى اللّحظة n+1 بطريقة متكيّفة حتّى يصبح خرج المرشّح أفضل فأفضل وبالتّالي نصل إلى الإشارة المطلوبة[6].



الشّكل (1) لاغي الضّجيج المتكيّف.

3-2- خوارزميّات عمل المرشحات المتكيّفة:

تكمن الفكرة الأساسيّة لهذه الخوارزميّات في تمرير الإشارة المشوّشة خلال مرشّح يميل إلى إخماد الضّجيج/التّداخل مع ترك الإشارة دون تغيير، وبالتّالي تعمل هذه الخوارزميّات على توليد شعاع التّصحيح المعتمد على إشارة الدّخل والخطأ وبالتّالي تضبط بارامترات المرشّح لتقليل قيمة الخطأ.

وتعدّ خوارزميّة المتوسّط التربيعي الأدنى (LMS: Least Mean Square Algorithm) أبسط هذه الخوارزميّات وأكثرها سهولة للتّنفيذ وتأمين المتطلبات الأساسيّة لسلوك الملاحقة بالإضافة إلى انخفاض تعقيدها الحسابي حيث تتطلّب ذاكرة وعدد عمليّات حاسوبيّة أقل، وهذا ما يجعلها ملاءمة لتطبيقات الزّمن الحقيقي، ونعبّر عن خوارزميّة LMS بالعلاقات الثّلاث الآتية:

$$y(n) = W^T(n)X(n) \quad (1)$$

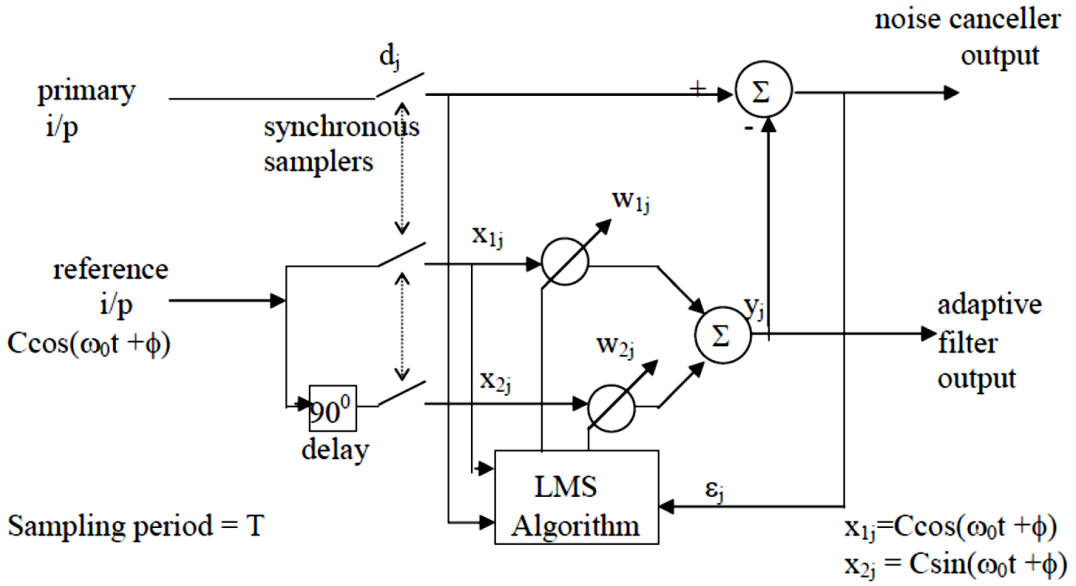
$$\varepsilon(n) = d(n) - y(n) \quad (2)$$

$$W(n+1) = W(n) + \mu\,\varepsilon(n)X(n) \quad (3)$$

حيث أنّ $d(n)$ هي الإشارة المرغوبة، $\varepsilon(n)$ إشارة الخطأ، $y(n)$ خرج المرشّح المتكيّف، μ حجم الخطوة للمرشّح، ويحدّد عن طريق التّجريب والمحاكمة، $W(n)$ شعاع الوزن للمرشّح، $X(n)$ شعاع إشارة دخل المرشّح، $W(n+1)$ تحديث شعاع وزن المرشّح [7,8].

3-3- مبدأ عمل مرشّح الشّقوق المتكيّف:

لفهم عملية إلغاء الضّجيج/التّداخل باستخدام مرشّح الشّقوق المتكيّف ندرس حالة الإلغاء لتردّد واحد مع وزنين متكيّفين كما هو موضّح في الشّكل(2).



الشّكل(2) استخدام المرشّح المتكيّف كمرشّح شقوق لإلغاء التّداخل بالاعتماد على خوارزميّة LMS.

حيث يتألّف المدخل الأوّلي من الإشارة الأصليّة (الإشارة الحاملة للمعلومات) مع إشارة التّداخل الجيبي ذات التردد ω_o (ويُسمّى مجموع هاتين الإشارتين بالإشارة المرغوبة d_j).

أمّا المدخل المرجعي فيتألّف من إشارة لها نفس تردّد إشارة التّداخل بينما مطالها وطورها فيتمّ اختيارهما بشكل كيفيّ حيث يمكن من خلالهما التّحكم بعرض حزمة الشّق، لذا يجب اختيارهما بشكل دقيق، وبالتّالي نفرض أنّ طاقة الضّجيج/التّداخل متركّزة في مجال تردّدي معيّن يمكن تقديره للحصول على الإشارة المرجعيّة التي تعطى بالعلاقة: $C\cos(\omega_o t+\phi)$، حيث:ω_oتردّد الإشارة المرجعيّة الموافق لتردّد إشارة التّداخل، C: مطال الإشارة المرجعيّة، ϕ: طور الإشارة المرجعيّة، وتقطّع إشارات المداخل الأوليّة والمرجعيّة عند التّردد rad/s، $\Omega=2\pi/T$ حيث **T**: زمن التّقطيع، وبالتّالي يتمّ الحصول على الإشارة عند أحد مداخل نقطتي التّفرع للمرشّح عن طريق تقطيع إشارة المدخل المرجعي بشكل مباشر، أما إشارة مدخل نقطة التّفرع الثّانية فنحصل عليه عن طريق تقطيع نسخة مزاحة طوريّاً بمقدار 90^o عن الإشارة المرجعيّة[9]، ونعبّر عن علاقة الإشارات عند مدخلي نقطتي التّفرع للوزنين على الشّكل الآتي:

$$x_{1j}=C\cos(\omega_o T+\phi) \quad (4)$$

$$x_{2j}=C\sin(\omega_o T+\phi) \quad (5)$$

حيث x_{1j} ، x_{2j} هي مداخل نقاط التّفرع للأوزان.

ثمّ تتكيّف مركبات المرشّح لملاحقة إشارة التّداخل عند التردّد الواجب تقديره (التّنبؤ به) والذي يقع في مركز الشّق عن طريق استخدام مركبات المرشّح المثاليّة المحسوبة عند ذلك التّردّد، لذلك تستمرّ الخوارزميّة بالتّقارب حتى تصل إلى التّردد الصّحيح، وهذا يؤدّي إلى ترشّيح الإشارة المرجعيّة بشكل متكيّف لتعطي في خرج المرشّح إشارة مطابقة قدر الإمكان لإشارة التّداخل الجيبي، ويساهم ذلك في ترشّيح إشارة التّداخل هذه (منع مرورها) وتحسين الاستجابة الترددية لمرشّح الشّقوق من أجل رفض التّداخل المترابط وتكون علاقة إشارة خرج المرشّح من أجل كلّ وزن:

$$y_{1j}=w_{1j}\,x_{1j} \quad (6)$$

$$y_{2j} = w_{2j}\, x_{2j} \quad (7)$$

w_{1j} ، w_{2j}: الوزن الابتدائي عند نقطة التّفرع الأولى والثّانية على التّرتيب ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$w_{1j} = 2\,\mu\, C \cos(\omega_o T + \phi) \quad (8)$$

$$w_{2j} = 2\,\mu\, C \sin(\omega_o T + \phi) \quad (9)$$

أمّا معادلات تحديث الأوزان لخوارزميّة LMS المستخدمة فهي:

$$w_{1j+1} = w_{1j} + 2\,\mu\,\varepsilon_j x_{1j} \quad (10)$$

$$w_{2j+1} = w_{2j} + 2\,\mu\,\varepsilon_j x_{2j} \quad (11)$$

w_{1j+1} ، w_{2j+1}: تحديث الوزن عند نقطة التّفرع الأولى والثّانية على التّرتيب،: ε_j إشارة الخطأ والتي نحصل عليها بطرح y_j من d_j وتعطى بالعلاقة الآتية [9]:

$$\varepsilon_j = d_j - y_j \quad (12)$$

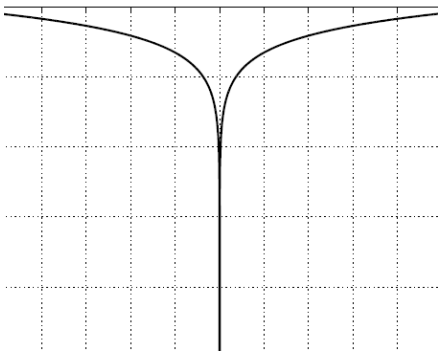
حيث y_j: إشارة خرج المرشّح وتساوي مجموع إشارتي الخرج عند نقطتي التّفرع كما هو موضّح في الشّكل(2):

$$y_j = y_{1j} + y_{2j} \quad (13)$$

3-4- مزايا مرشّح الشّقوق المتكيّف:

يتمتّع هذا النّوع من مرشّحات الشّقوق بالميّزات التّالية:

- التّتبع المتكيّف والقياس الواضح بدقّة لتردّد التّداخل غير المرغوب (التّداخل المراد إزالته) [10].
- تقارب المرشّح المتكيّف إلى تصميم ديناميكي تتغيّر خلاله أوزان المرشّح مع الزّمن، وهذا يقود إلى تنفيذ تصميمي لمرشّح شقوق مولّف يساعد على تتبّع التّردّد الدّقيق للتّداخل تحت الشّروط غير الثّابتة أو عند وجود انحراف في التّردّد[10].
- يوفّر سهولة في التّحكم بعرض الحزمة[11]، حيث يوضح الشّكل (3) في الأسفل شكل حزمة المنع لمرشّح الشّقوق المتكيّف[4].



الشّكل(3) حزمة المنع لمرشّح الشّقوق المتكيّف.

3-5- استخدام المرشّح المدروس لإلغاء تداخل القناة المجاورة في الأنظمة الخلويّة:

يحول الأداء غير المثالي لأجهزة الإرسال دون حصر الطّاقة التي يتمّ بثّها ضمن النّطاق المخصّص لكلّ قناة تردّدية حيث يرسل الحامل جزءاً من طاقته إلى القنوات المجاورة، كما تعجز المرشّحات المستخدمة في أجهزة الشّبكة الخلويّة المختلفة عن حجب كلّ تسرّب محتمل للطّاقة من قنوات تردّدية مجاورة ممّا يؤدّي إلى حدوث تشويش على القنوات التّردّدية المجاورة، وهذا ما ينتج عنه حدوث تداخل طيفي بين الإشارة المطلوبة والإشارة غير المرغوب بها

سواء في جهة المسار الصّاعد أو الهابط، لذلك يمكن إزالة العديد من إشارات التّداخل الجيبيّة عن طريق تشكيل مرشّح شقوق متعدّد الأوزان مع الملاحقة المتكيّفة للتّردّدات الموافقة حيث يتطلّب تصميمه وزنين من أجل كلّ تداخل جيبي لتحقيق التّرشيح المطلوب[12]، وتلعب خوارزميّة LMS الدّور الأساسي في ضبط آليّة عمل المرشّح لتحقيق هذا وذلك بجعل إشارة المدخل الأوّلي للمرشّح d_j التي تمثّل إشارة القناة المطلوبة مضافاً إليها إشارة القناة المجاورة المطلوب ترشيحها بمثابة الإشارة المرغوبة$d(n)$ المطبّقة على الخوارزميّة، بينما الإشارات المتعاكسة في الطّور عند مدخلي نقطتي تفرّع الوزنين للمرشّح فتمثّل شعاع إشارة دخل الخوارزميّة $X(n)$.

وعلى ما تمّ توضيحه فقد تم توظيف آليّة عمل هذه الخوارزميّة المتمثّلة بقدرتها على توليد شعاع التّصحيح المعتمد على إشارة الدّخل والخطأ وضبط بارامترات المرشّح لتقليل إشارة الخطأ من أجل تحسين أدائها بما يتناسب مع قدرتها على جعل المرشّح المتكيّف قادر على العمل كمرشّح شقوق متكيّف من أجل إلغاء تأثير القنوات المجاورة في النّظام الخلوي.

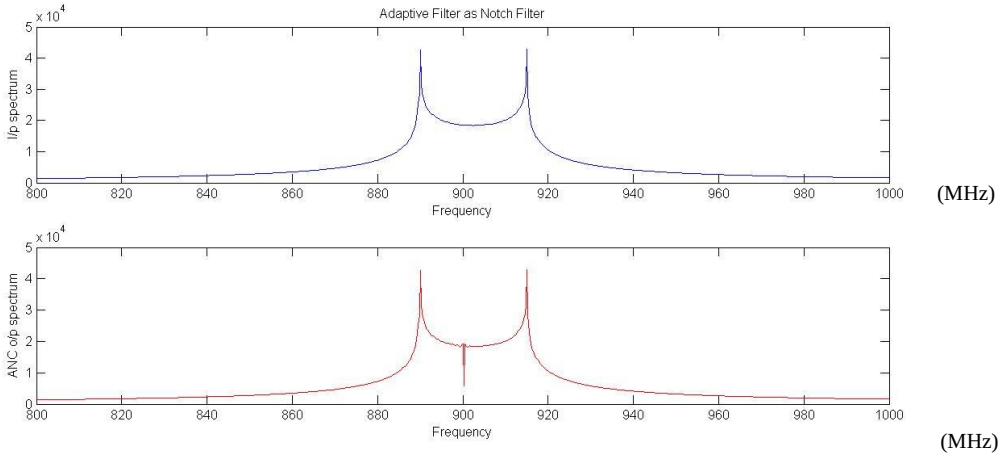
لذلك سوف نختار للدّراسة تردّد موجة حاملة يقع ضمن تردّدات نظام GSM كونه القاعدة الأساسيّة التي انطلقت منها الأجيال اللّاحقة، حيث نفرض أنّ الوحدة المتحرّكة (MS: Mobile Station) في حال اتّصال مع المحطّة القاعديّة (مسار صاعد) على التّردد $f_c = 900MHz$في الوقت الذي يستقبل فيه هوائي المحطّة القاعديّة القناة المجاورة العاملة على التّردد $900.2MHz$ والذي يبعد عن تردّد الإشارة الأصليّة بمقدار 200KH (عرض القناة في نظام GSM)، وبما أنّ عرض حزمة المنع لمرشّح الشّقوق يوافق عرض حزمة القناة المراد حجبها لذلك يتمّ اختيار C و ϕ بشكل كيفي من أجل الحصول بدقّة على شق ضيّق وعميق حول التّردد المركزي ($900.2MHz$) وذو عرض حزمة منع مساوية لعرض القناة المجاورة المسبّبة للتّداخل (200KH)، حيث يتمّ احتساب عرض حزمة المنع عند تردّد منتصف الاستطاعة.

4- النّتائج والمناقشة:

بما أنّ بارامتر حجم الخطوة μ يضبط سرعة التّقارب والدّقة حيث تؤدي زيادة قيمته إلى سرعة تقارب أعلى ولكن على حساب دقة التّقدير[13]، لذلك نختار قيمته $\mu = 0.006$ والتي تسمح بتحقيق المفاضلة المثلى بين أداء الملاحقة والتّقدير الدّقيق للتّردد، كما أنّ تردّد التّقطيع يجب أن يكون مساو لضعفي تردّد الإشارة على الأقل لذلك فقد تم اختيار قيمة زمن التّقطيع T بتقسيم زمن الإشارة على8 نظراً لكون تردّد إشارات نظام GSM من مرتبة الميغا هرتز مما يدعو إلى استخدام تردّدات تقطيع كبيرة، وبما أنّ C و ϕ يتمّ اختيارهما بشكل كيفيّ لذلك فقد تم اختيار قيمتهما بعد التجريب والملاحظة ($\phi = 0^o, C = 0.08$) من أجل الحصول على العرض المثالي لحزمة المنع الموافق لـ 200 KH.

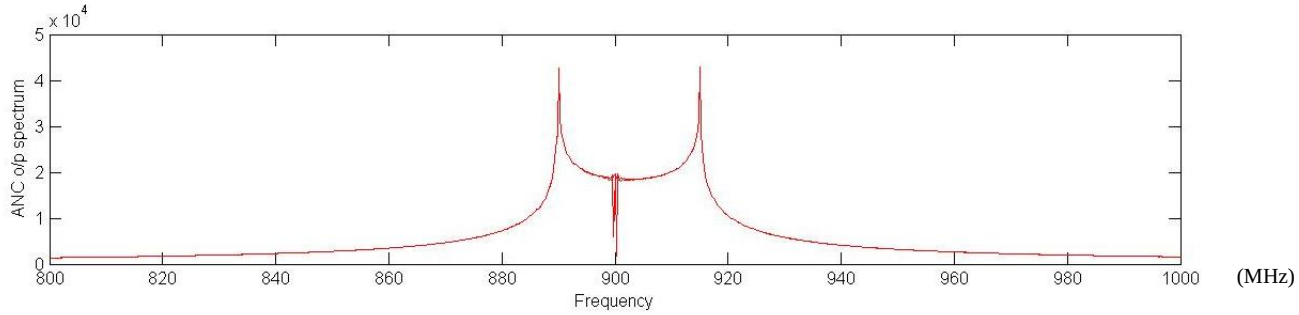
وبعد تطبيق إشارة القناة المرغوبة ذات التردّد 900 MHz مضافاً إليها إشارة القناة المجاورة المسبّبة للتّداخل (ذات التّردد 900.2 MHz) بالإضافة إلى تطبيق الإشارة المرجعيّة التي لها نفس تردّد القناة المجاورة المطلوب رفضها على مدخلي مرشّح الشّقوق المتكيّف ذو الطّول $L = 2$ (عدد أوزانه =2) المبيّن في الشّكل (2) والذي يستقبل حزمة تردّدات نظام GSM الممتدة على المجال التردّدي (890-915 MHz) فتظهر النّتائج باستخدام برنامج الماتلاب بأنّ مرشّح الشّقوق المتكيّف هذا قادر على تتبع التّردد الفعلي لإشارة التّداخل، حيث تقوم خوارزميّةLMS بعد تحسين عملها بما يتلاءم مع جعل المرشّح المتكيّف يعمل كمرشّح شقوق بملاحقة تغيّر التّردد بدلاً من ملاحقة تشوّه الإشارة بسبب الضّجيج وعندما يصبح تردّد الشّق مساوياً لتّردد التّداخل فإنّ المرشّح يضبط استجابته التّرددية من أجل تخميد

تردّد الشّقّ فقط في إشارة الدّخل إلى مستوى منخفض يوافق مقدار طاقة التّداخل المسموح بها من القناة المجاورة وذلك بما يتوافق مع المعايير الموصى بها في نظام GSM مع ترك مصدر الإشارة دون تشوّه، ونحصل بعد حوالي 30000 تكرار على نطاق رفض ضيّق جدّاً يمتدّ من التّردد 900.1MHz حتّى التّردد 900.3MHz وهذا يوافق عرض القناة المجاورة المسبّبة للتّداخل(الشّكل (4))، وإنّ العدد الكبير للتّكرارات التي تحتاجها الخوارزميّة يلعب دوراً في الحصول على شقّ ضيّق وعميق وخاصة عند الحزم الصّغيرة جداً لمجال الرفض مقارنة مع حزمة التّمرير للمرشّح.

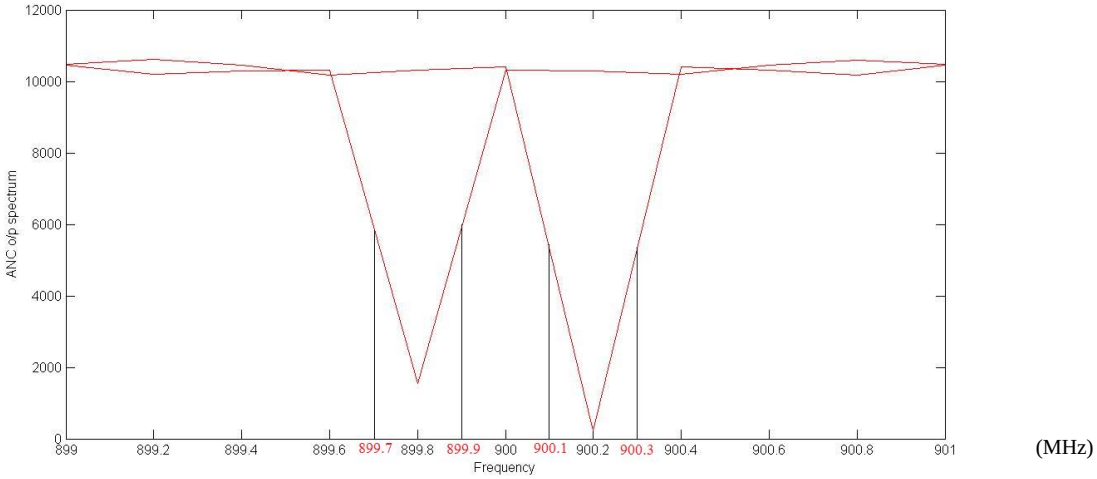


الشّكل(4) استخدام المرشّح المتكيّف كمرشّح شقوق وحيد التّردد.

كما يمكن إلغاء تداخل العديد من الإشارات الجيبيّة باستخدام تردّدات مختلفة للشّق حيث يسمح المرشّح المدروس بإلغاء تردّدي القناتين الأعلى والأدنى (900MHz ± 200KHz = 899.8 MHz , 900.2 MHz) والمسبّبتين لتداخل القناة المجاورة وذلك باستخدام مرشّح ذو شقّين حيث يتمركز كلّ من التّردّدين 899.8 MHz و 900.2 MHzفي مركز كلّ شقّ الشّكل (5-b)، كما يمكن إلغاء تداخل القنوات المجاورة الأبعد فيما لو لم يكن تأثيرها مهملاً، وتلعب هنا الدّقّة العاليّة لتقدير تردّد الموجة الجيبيّة دوراً مهمّاً لتضمن أنّ الشّقوق الضيّقة سوف تلغي إشارات التّداخل الجيبيّة وتسمح فقط بتمرير القناة ذات التّردّد المركزي (900MHz) والتي يمتدّ عرض حزمتها من 899.9MHz وحتّى 900.1 MHz (200KHz) كما هو موضّح في الشّكلين (5-a) و (5-b).

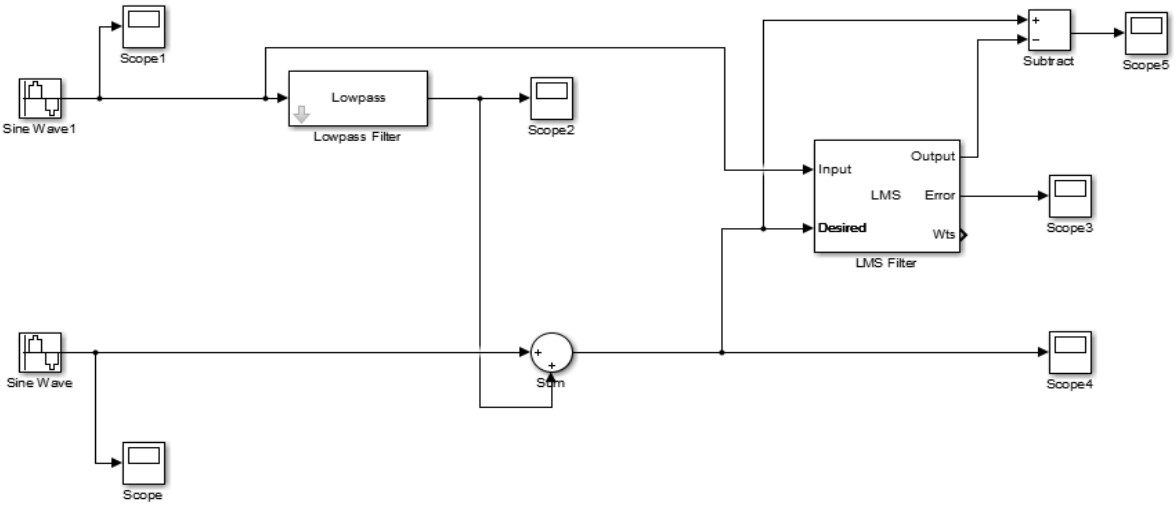


الشّكل(5-a) استخدام المرشّح المتكيّف كمرشّح شقوق متعدّد التّردّد.



الشّكل(5-b) تقريب للنّتائج في الشّكل (a- 5).

بالإضافة إلى ما سبق يمكن الحصول على النّتائج التي تظهر إمكانيّة استخدام المرشّح المتكيّف لإلغاء تداخل القناة المجاورة في النّظم الخلويّة باستخدام نموذج محاكاة الماتلاب المبيّن في الشّكل (6).



الشّكل(6) نموذج محاكاة الماتلاب لإلغاء تداخل القناة المجاورة في النّظم الخلويّة.

ولقد أظهرت العديد من الدّراسات السّابقة عمل الخوارزميّة المذكورة وفعّاليتها لقيادة المرشّح المتكيّف من أجل إزالة العديد من أنواع الضّجيج (الضّجيج الأبيض، الطّلقي، الوردي...)، بالإضافة إلى استخدامها في العديد من التّطبيقات الطّبيّة من أجل إزالة إشارات التّداخل والضّجيج من إشارات تخطيط القلب والدّماغ الكهربائي وغيرها من الاستخدامات في مختلف مجالات الاتصالات والأجهزة الصناعيّة مثل الهواتف والمحولات، وتمّ الحصول على نتائج جيّدة من ناحية معايير أداء الخوارزميّات مثل: معدّل التّقارب ,الاستقرار ,انخفاض التّعقيد الحسابي , خطأ الحالة الثابتة المنخفض، في الوقت الذي تمّ فيه استخدام المرشّح المتكيّف كمرشّح شقوق باستخدام خوارميّة LMSنفسها أوغيرها من الخوارزميّات المقترحة لإزالة إشارات ذات تردّدات معيّنة من حزمة طيف تردّدي وتمّ الحصول على حزم منع على شكل شقّ ضيّق وعميق عند التّرددات الموافقة لتردّد الشّق [1,2,3,4,9].

لذا تكمن أهميّة النّتائج السّابقة في تحسين عمل خوارزميّة LMS التي تعدّ أبسط الخوارزميّات وأقلّها تعقيداً حسابيّاً وبالتّالي أكثر ملائمة لتطبيقات الزّمن الحقيقي من أجل استخدامها في توظيف مبدأ عمل المرشّح المتكيّف كمرشّح شقوق في النّظام الخلوي لإزالة الأثر غير المرغوب للقنوات المجاورة.

5- الخلاصة والتّوصيات:

عندما تكون إشارة التّداخل غير معروفة مسبقاً فإنّ عرض الحزمة الابتدائي للشّق يكون عريضاً في البداية بحيث يمكن التقاط إشارة التّداخل بأقصى سرعة ممكنة، وهذا ينتج عنه ترشيح أقلّ لإشارة التّداخل ودقّة أقلّ في تقدير التّردّد، ولكن مع الضّبط المتكيّف لبارامترات المرشّح فسوف يقترب عرض حزمة الشّق تدريجيّاً من الصّفر وهذا ما يخلق صعوبة في ملاحظة التّغيّر في تردّد الإشارة ومن الممكن أن يؤدّي إلى جعل التّردد المطلوب (المراد إزالته) خارج النطاق التّردّدي للشّق وبالتّالي سيسبّب ذلك خطأً كبيراً في تقدير التّردّد، لكنّ الضّبط الدّقيق لبارامترات المرشّح في الزّمن الحقيقي سيضمن وقوع التّردّد ضمن مجال عرض حزمة الشّق والمحافظة على قدرة المرشّح على التّكيّف وبالتّالي ستصبح دقّة تقدير التّردد أعلى فأعلى حتّى نحصل في النّهاية على شقّ ضيّق وعميق حول التّردّد المركزي وهذا يزيد من فعاليّة ترشيح القنوات المجاورة المسبّبة للتّداخل.

وبما أنّ عرض الحزمة المثالي لمرشّح الشّقوق يعتمد على مطال الإشارة المرجعيّة (إشارة التّداخل)C، زمن التّقطيعT، حجم الخطوة μ، حيث يمكن اختيار قيمة C بشكل كيفيّ كما ذكرنا سابقاً، لذلك نستطيع عن طريق التّجريب تغيير قيمتها من أجل التّحكم في العرض المطلوب لحزمة المنع B (الشّكل(5-b)) وصولاً إلى جعله متوافقاً مع عرض حزمة التّردّد لإشارة التّداخل المطلوب إزالتها، مع الأخذ بعين الاعتبار أيضاً جعل تردد التّقطيع عال و اختيار قيمة لـ μ تحقق المفاضلة المثلى بين سرعة تقارب الخوارزميّة وقدرتها على تّقدير التّردد بشكل دقيق، وهكذا فإنّ اختيار B بشكل دقيق اعتماداً على تغيّير قيم البارامترات السّابقة يساعد في ترشيح التّداخل ضيّق الحزمة قدر الإمكان مع حدوث تشوّهات لا تذكر في الإشارة الأصليّة المرسلة، وإنّ عرض الحزمة الذي يظهر في الشّكل (5-b) بعد تقريب النّتائج نظراً لصغر عرض حزمة القناة المطلوب رفضها يوافق شكل الحزمة من النّاحية النّظريّة الموضّح في الشّكل(3)، كما أنّ عمق الشّق الذي يمكن تحقيقه باستخدام هذا التّصميم يتفوّق على تصميم مرشّح رقمي ثابت أو مرشح تماثلي لأنّ عمليّة التّكيّف تضمن حدوث الإلغاء بدقّة عند التّردّد الموافق للإشارة المرجعيّة.

ويمكن متابعة العمل وفق عدة محاور أهمها:

- بما أنّ خوارزميّة LMS المستخدمة في التّرشيح المتكيّف تتميز ببساطتها ومرونتها وسهولة تنفيذها بالإضافة إلى كفاءتها الحسابيّة، ولكن عندما يكون حجم الخطوة كبير فإنّها تشير إلى تقارب ابتدائي سريع ولكن تظهر قيمة خطأ كبير في الحالة الثابتة، وعلى العكس فإنّ حجم الخطوة الصّغير يظهر بطء في التّقارب ولكن ينتج عنه قيم حالة ثابتة صغيرة، لذا يمكن تحسين أدائها عن طريق دمج مرشّحين على التّوازي أحدهما سريع والآخر بطيء وذلك بجمع الميّزات الأفضل لكل مرشّح وهذا يساهم في زيادة معدّل التّقارب لخوارزميّة LMS المطبّقة (تحسين قدرات الملاحقة) مع المحافظة على دقّة التّقدير(إنقاص خطأ الحالة الثابتة) بنفس الوقت وبالتّالي الحصول على خرج كلّي محسّن، كما يمكن تحسين أداء الخوارزميّة بدمج المرشّحين على التّسلسل حيث تتمّ عمليّة المعالجة وترشّيح التّداخل على مرحلتين وهذا يزيد من دقّة الإشارة التي نحصل عليها في خرج لاغي التّداخل المتكيّف.
- كما يمكن إعادة الدّراسة السّابقة نفسها باستخدام أنواع أخرى من الخوارزميّات سواء أكانت من عائلة خوارزميّة LMS نفسها أو من عائلات أخرى مثل: خوارزميّة RLS وغيرها ومقارنة النّتائج مع بعضها من ناحية معايير الأداء لهذه الخوارزميّات.

6- قائمة المراجع:

[1] Pillai,V.V., Safna,S.F., Ratheesh,S., Shoukath,Sh. (2014). "Adaptive IIR Notch Filter Design For

Cancellation of Periodic Impulsive Noise in OFDM Based Power Line Communications". International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology(IJIRSET). 3(5): 38-45.

[2] Verma, A.R., Singh,Y.(2015)."Adaptive Tunable Notch Filter for ECG Signal Enhancement". Procedia Computer Science. 57: 332-337.

[3] Mane,V., Agashe, A.(2011). " An Adaptive Notch Filter For Noise Reduction and Signal Decomposition". International Journal of Computer Science Issues(IJCSI). 8(1): 360-365.

[4] Zahradnik,P., VLCEK,M.(2013). "Notch Filtering Suitable for Real Time Removal of Power Line Interference". RADIOENGINEERING. 22(1):186-193.

[5] Maulik,S., Basu, S.(2018). "Comparative Study of Adaptive Filter and Notch Filter for Filtering of Corrupted Signals". International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 8(11):114-119.

[6] Dixit,SH., Nagaria,D.(2017)." LMS Adaptive Filters for Noise Cancellation: A Review ". International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 7(5): 2520-2529.

[7] Lee,J.H., Ooi,L.E., Ko,Y.H. , Teoh,C.Y.(2017). "Simulation for noise cancellation using LMS adaptive filter". International Conference on Aerospace, IOP Science. 211:1-6.

[8] Chauhan,V., Bansal, P.(2014). "Improving the Convergence Time of Adaptive Notch Filters to Harmonic Detection". International Journal of Advanced Engineering Research and Technology (IJAERT). 30(31):91-94.

[9] Fan,L., Dongdong,Z., Ding,L., Yidan,S., Jianping,L., Sui,Q., Liangchuan,L., Xingwen,Y., Zhaohui,L.(2018). "100 Gbit/s PAM4 signal transmission and reception for 2-km interconnect with adaptive notch filter for narrowband interference".OPTICS EXPRESS. 26(18): 24066-24074.

[10] Kukrer,O., Hocanin, A.(2006). "An FIR Notch Filter for Adaptive Filtering of a Sinusoid in Correlated Noise". EURASIP Journal on Applied Signal Processing. pp:1-10.

[11] Ting,S.A., Hua,L.N., Qi,Z.X. , Ming,L.(2017)." A Novel Adaptive Frequency Estimation Algorithm Based on Interpolation FFT and Improved Adaptive Notch Filter". MEASUREMENT SCIENCE REVIEW. 17(1): 48-52.

[12] Kocon´,S., Piskorowski, J.(2019). "Time-Varying IIR Notch Filter with Reduced Transient Response Based on the Bézier Curve Pole Radius Variability". Applied Sciences. 9:1-14.

[13] Sugiura,Y., Aikawa,N.(2014)." A Fast and Accurate Algorithm for IIR Adaptive Notch Filter Using Monotonically Increasing Function". International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications. pp:672-675.