

Processing of the Wireless Signal in Cellular Systems Using Adaptive Filter

Dr.Yaser Emleh*
Dr.Haitham Alradwan**
Farah Jnaikhe***

(Received 5 / 8 / 2019. Accepted 15 / 10 / 2019)

□ ABSTRACT □

Wireless systems including cellular system suffer from many phenomenas associated with electromagnetic waves propagation such as interference, fading, multipaths propagation, Doppler deviation, etc..., in addition to the noise effect associated with the communication channel. Since the cellular system relies on frequency reuse to improve capacity and spectral efficiency, the effect of these phenomenas increase as time the traditional methods do not succeed to eliminate them completely, which calls for using advanced methods of signal processing in real time.

Therefore, the study examines using the adaptive filter technology to cancel the the co-channel and adjacent channel interference, and shows its ability to improve the signal to interference ratio significantly. It also studies the additive white gaussian noise cancellation (AWGN), which simulates the random noise that changes instantaneously and affects the wireless signal as it travels in the radio medium, The study shows the difference between the working mechanism of the adaptive filter used for processing in both cases. The rest of the other phenomenas that are the radio signal exposed to it and methods of handle using adaptive filter will be studied in the next researchs.

Keywords: adaptive filter, LMS algorithm, co-channel interference, adjacent channel interference, additive white gaussian noise.

*Professor, Department of Electronic Engineering and Communication , Faculty of Mechanical and Electrical Engineering , Al-Baath University, Homs, Syria.

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

*** PhD Student, Department of Electronic Engineering and Communication , Faculty of Mechanical & Electrical Engineering , Al-Baath University , Homs, Syria.

معالجة الإشارة اللاسلكية في الأنظمة الخلوية باستخدام المرشح المتكيف

د.ياسر عملة*

د.هيثم الرضوان**

فرح جنيكه***

(تاريخ الإيداع 5 / 8 / 2019. قبل للنشر في 15 / 10 / 2019)

□ ملخص □

تعاني الأنظمة اللاسلكية بما فيها النظام الخلوي من العديد من الظواهر المرافقة لانتشار الأمواج الكهرومغناطيسية مثل التداخل، والخفوت، والانتشار متعدد المسارات، وانحراف دوبلر وغيرها..، بالإضافة إلى تأثير الضجيج المرافق لقناة الاتصال، وبما أن النظام الخلوي يعتمد على إعادة استخدام التردد من أجل تحسين السعة والفعالية الطيفية لذلك يزداد تأثير هذه الظواهر في الوقت الذي لا تتجح فيه الطرق التقليدية في إلغاء تأثيرها بشكل كامل وهذا ما يدعو إلى استخدام طرق متقدمة لمعالجة الإشارة في الزمن الحقيقي.

لذلك يتناول البحث استخدام تقنية المرشح المتكيف لإلغاء تداخل القناة المشابهة والقناة المجاورة ويظهر قدرته على تحسين نسبة الإشارة إلى التداخل بشكل كبير، كما يدرس إلغاء الضجيج الغوصي الأبيض المضاف الذي يحاكي الضجيج العشوائي المتغير بشكل لحظي والمؤثر على الإشارة اللاسلكية أثناء انتقالها في الوسط الراديوي، وتظهر الدراسة الفرق في آلية عمل المرشح المتكيف المستخدم للمعالجة في كلا الحالتين، أما بقية الظواهر الأخرى التي تتعرض لها الإشارة اللاسلكية وطرق معالجتها باستخدام الترشيح المتكيف فستدرس في الأبحاث القادمة.

الكلمات المفتاحية: المرشح المتكيف، خوارزمية LMS، تداخل القناة المشابهة، تداخل القناة المجاورة، الضجيج الغوصي الأبيض المضاف.

* أستاذ، قسم الهندسة الإلكترونية والاتصالات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، حمص، سورية.
** أستاذ مساعد، قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
*** طالبة دراسات عليا (دكتوراه)، قسم الهندسة الإلكترونية والاتصالات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، حمص، سورية.

مقدمة:

يعدّ الضجيج والتداخل من العوامل الرئيسية التي تخفض معدل نقل البيانات، حيث تبقى هذه المشكلة ملازمة للنظام الخلوي على مرّ أجياله لذلك تستخدم العديد من الطرق لتحسين سعته مثل استخدام المكررات الأمامية والمضخمات أو من خلال إنقاص طاقة الإرسال لتخفيض التداخل كما هو متبع في نظام التطور طويل المدى (LTE: Long-Term Evolution) أو عن طريق فصل الهوائيات، ولكن لكل طريقة منها سلبيّة حيث أنّ المباعده بين الهوائيات تسبب خسارة إرسال، كما أنّ طريقة إنقاص طاقة الإرسال غير مرغوبة لأنّها تحدّ من مجال التغطية[1].

وبالتالي هناك العديد من التقنيات المستخدمة لتخفيض التداخل والضجيج في أجهزة الاستقبال الراديوية يطبق بعضها خلال استشعار الطيف و تطبق تقنيات أخرى على الإشارة المشوشة المستقبلية خلال الاتصال، وكمثال على هذه التقنيات تطبيق خوارزميات المرشح المتكيف التي تساهم في الحصول على معدل نقل بيانات مرتفع من خلال معالجة الإشارة الرقمية في الزمن الحقيقي بشكل محسّن حيث يمكنها تخميد الضجيج آنياً في حزم التردد حتّى تلك التي تزيد عن 125MHz، لذا يعدّ المرشح المتكيف الحل الأفضل لتحسين حساسية المستقبل عند انخفاض نسبة الإشارة إلى التداخل/ الضجيج حيث يمكنه معالجة المعطيات بدون معلومات مسبقة عن الإشارة المستقبلية[2].

وكما نعلم أنّ أنظمة النفاذ المتعدد بتقسيم الرمز عريضة الحزمة (WCDMA :Wide-Band Code Division Multiple Access) تعتمد على التحكم بالطاقة حيث أنّ عدد من المستخدمين يصلون إلى نفس التردد ويستخدمون عرض النطاق الترددي في الوقت ذاته، لذلك فإنّ عمل المرشح المتكيف في هذه الأنظمة إلى جانب آلية التحكم بالطاقة سيعطي معدل نقل بيانات عال وكفاءة أفضل للنظام كما يخفّف من عمليات الخفوت (السريع والبطيء)، بالإضافة إلى إمكانية استخدام المرشح المتكيف في أنظمة النقل المزدوج الكامل التي يعمل فيها المرسل والمستقبل معاً في نفس الوقت باستخدام نفس تردد الموجة الحاملة وذلك باستخدام الهوائي نفسه أو هوائي مختلف للإرسال والاستقبال وهذا ما يجعلها تعاني من التداخل الذاتي بسبب اقتران الإشارة المرسل ذات الطاقة العالية مع الإشارة المستقبلية.

تحاول أنظمة الجيل الرابع المتطورة LTE-advance إلغاء التداخل بين المستخدمين في نفس الخلية وذلك عن طريق استخدام نظام المزج بتقسيم التردد المتعامد (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) لكن ستظل تعاني من تأثير التداخل الناتج عن الإرسال في الخلايا المجاورة بسبب الاشتراك في نفس الموارد من طيف ترددي أو زمني[3]، كما أنّ أحد عيوب نظام OFDM هي حساسيته لتردد دوبلر ومزامنة التردد حيث أنّ أي انحراف بالتردد سيخلق تداخلاً مع القناة المجاورة.

أما بالنسبة للجيل الخامس المعتمد على استخدام الترددات العالية، فهو يعاني من عدم قدرة هذه الموجات الكهرومغناطيسية على الانتقال لمسافات بعيدة فهي غير قادرة على عبور المباني وفي حال وجود الأمطار أو الأشجار فسوف يتم امتصاصها مما يعني عدم وجود اتصال مستقر بسبب التداخل الذي يحدث لهذه الموجات، لهذه الأسباب فإنّ البنية التحتية لشبكات هذا الجيل تعتمد على زيادة أبراج الاتصالات صغيرة الحجم والقريبة من بعضها، وهذا ما يجعل استخدام المرشح المتكيف ممكناً في أنظمة الجيل الرابع والخامس لتجنب آثار التداخل والمحافظة على معدلات النقل العالية.

وفقاً لما سبق فقد تطوّرت المرشحات المتكيفة بشكل سريع جداً في السنوات الأخيرة، حيث تحتل شعبية بسبب تقدمها في التكنولوجيا الرقمية وانخفاض تكلفة المكونات المادية لها والتفويض الحسابي المنخفض نسبياً لها، بالإضافة إلى قدرتها على العمل في بيئة غير معروفة وإمكاناتها الجيدة جداً للملاحظة.

أهمية البحث وأهدافه:

نظراً لكون خصائص طرق الإرسال غير معروفة أو معروفة بشكل تقريبي وليست ذات طبيعة ثابتة وهذا ما يجعل من الصعب تطوير مرشحات مع مركبات ثابتة لإنفاص التداخل والضجيج العشوائي، كما أنّ طيف التردد لمنابع الضجيج معتمد على الزمن وغير معروف بالضبط لذلك فإن استخدام مرشح مع مركبات ثابتة لا يمكنه أن يتصل مع هذا النوع من إشارات الضجيج لأنه سيتسبب في ضياع المعلومات المفيدة حيث لا يمكن ضبط خصائصه بدقة وقد يؤدي أدنى خطأ إلى زيادة قوة الضجيج لذلك يكون الحل باستخدام المرشح المتكيف الذي يعمل وفقاً لبارامترات متغيرة [4].

كما تعاني الأنظمة الخلوية من وجود تداخل طيفي بين الإشارة المطلوبة والإشارة غير المرغوب بها القادمة من محطات قاعدية أخرى (BS: Base Station) أو من مستخدمين تابعين لها في الوقت الذي يكون فيه نطاق التردد الذي يشغله التداخل/الضجيج غير معروف أو متغير مع الزمن، وبالتالي لا يمكن تعريف معاملات المرشح في هذه الحالة حيث يجب أن تكون متغيرة وفقاً للتغيرات في خصائص إشارة الدخّل من أجل تحسين أدائها.

وبما أنّ التداخل يؤثر على عمل الأنظمة الخلوية الراديوية حيث أنه يعطي جودة تحدت ضعيفة ومن الممكن أن يسبب فقدان المكالمات الصوتية أو انقطاع الإرسال في حال العمل على شبكة الانترنت، لذلك يهدف البحث إلى تخميد الضجيج العشوائي المرافق لقناة الاتصال الأسلكية وتخفيض التداخل الناتج عن قنوات ترددية أخرى تعمل على التردد ذاته أو تردد مجاور وبالتالي تتحسن نسبة الإشارة الحاملة إلى الضجيج/ التداخل بشكل كبير حيث يمكن تحقيق مستويات رفض ضجيج/ تداخل من الصعب أو المستحيل تحقيقها بواسطة طرق معالجة الإشارة الأخرى وهذا يزيد معدل نقل البيانات ويحسن جودة الاتصال، كما يهدف استخدام خوارزمية المتوسط التربيعي الأدنى (LMS: Least Mean Square Algorithm) لقيادة المرشح المتكيف إلى الحصول على أفضل أداء له مع تعقيد حسابي منخفض ومعدل تقارب سريع.

طرائق البحث ومواده:

1- التثويش في الأنظمة الخليوية:

يقصد بالتثويش كل ما من شأنه جعل الإشارة المرغوبة مبهمة أو غير واضحة مما يعيق استخلاص المعلومات التي تتضمنها، وينشأ إما بسبب تشوّه الإشارة أثناء انتقالها من المرسل إلى المستقبل أو نتيجة تراكمها مع إشارات أخرى يرصدها هوائي الاستقبال دون التمييز بينها ودون توفر إمكانية عزلها عن بعضها وكذلك ينشأ عن تسرب الطاقة من النظام غير الخلوي إلى نطاق التردد الخلوي، ويمكن تصنيف الإشارات المسببة للتثويش ضمن نوعين رئيسيين، النوع الأول يسمى التداخل وينتج عن قنوات ترددية معينة ومحددة أمّا النوع الثاني فيسمى الضجيج وهو ذو طابع عشوائي حيث لا تتبع القيم اللحظية لهذه الإشارات نمطاً دورياً أو محدداً ويوصف بأنه:

تراكمي: لأن القيمة اللحظية للإشارة المستقبلية (المشوشة) مساوية لقيمة الإشارة الأصلية مجموعاً لها قيمة إشارة التثويش.

أبيض: فيشير إلى أن له قوة موحدة حيث يشبه اللون الأبيض الذي يملك انبعاثات موحدة عند جميع الترددات ضمن الطيف المرئي.

غوصي: نظراً لوجود توزع طبيعي في المجال الزمني مع قيمة زمنية متوسطة مساوية للصفر.

لهذا يسمّى بالصّجيج الغوصي الأبيض المضاف (AWGN: Additive White Gaussian Noise) حيث يعدّ النموذج الأساسي الذي يستخدم في نظرية المعلومات والإشارة لمحاكاة تأثير العديد من العمليات العشوائية التي تحدث على قناة الاتصال في الطبيعة.

كما يمكن تصنيف الصّجيج حسب مصادره إلى الصّجيج الحراري، الصّجيج الخلفي، الصدى، الصّجيج الكهرومغناطيسي، الخ، أما تصنيفه حسب طيف التردد فيقسم إلى صّجيج أبيض، صّجيج محدود الحزمة، صّجيج ضيق الحزمة، صّجيج طلقي، صّجيج ملون (وردي، بني، أسود) الخ [5,6].

2- أنواع التداخل في الأنظمة الخلوية:

الطيف الترددي ثمين للغاية حيث تقتضي ندرة الترددات كمورد فيزيائي أساسي أن يستخدم النطاق الترددي ذاته وهذا ما يحتم استثمار هذه الترددات وتوزيعها على نحو فعال، لذلك يتم إعادة استخدام التردد في بعض المواقع الجغرافية، حيث يتم في نظام الاتصالات الخلوية ابتداء من الجيل الأول وحتى الجيل الحالي وما سيليه تقسيم الطيف الترددي إلى ترددات وتخصيصها إلى خلايا مختلفة [6]، وهذا يسبب نوعين رئيسيين للتداخل في هذه الأنظمة:

1-2- تداخل القناة المشتركة (CCI: Co- Channel Interference):

تحدث كنتيجة لظاهرة إعادة استخدام التردد وذلك بسبب الإرسال المتزامن على التردد نفسه من جميع المحطات القاعدية المحيطة بالمحطة القاعدية الأساسية، حيث تتشارك القناتان الطيف الترددي نفسه وهذا يسبب وصول الترددات المشابهة إلى المستقبل من المرسلات غير المرغوبة والتي تقع في مكان بعيد في بعض الخلايا الأخرى وبالتالي ستؤدي هذه الإشارات إلى تشويه بعضها البعض مما يؤثر على جودة الإشارة المستقبلية، ولا يمكن التغلب على هذا التداخل بزيادة طاقة الموجة الحاملة لأن ذلك سيؤدي إلى زيادة التداخل في خلايا القنوات المجاورة، وعلى الرغم من استخدام خوارزميات التحكم بالطاقة والهوائيات القطاعية المدمجة وزيادة طاقة الإرسال إلا أن التداخل من الطبقة الأولى يؤخذ بالحسبان حيث يوجد حتماً مستوى معين من التداخل على الإشارة من الخلايا الأخرى التي تستخدم نفس التردد، بينما يعدّ التداخل الناتج عن الإطار الثاني فما فوق مهملًا [7].

لا يعتمد تداخل القناة المشتركة على الطاقة المرسل بل تابع لنصف قطر الخلية والمسافة إلى أقرب خلية مشابهة وبالتالي يعطى معامل إعادة استخدام التردد بالعلاقة:

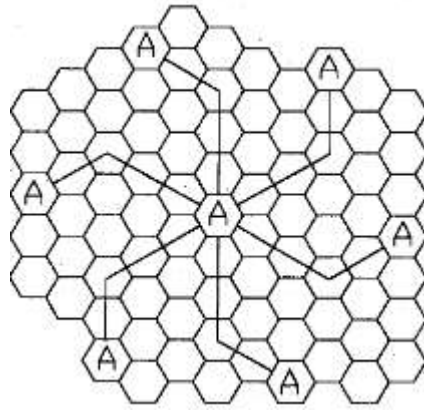
$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N} \quad (1)$$

حيث R نصف قطر الخلية، D المسافة بين الخلايا المتشابهة، N عدد الخلايا (الكتلة) التي تستخدم كافة الترددات المتاحة.

ونحصل بزيادة هذا العامل على مستوى أقل لتداخل القنوات المتشابهة، أما معدل الطاقة المستقبلية عند المحطة القاعدية فيتناقص كلما كانت الوحدة المتحركة (MS: Mobile Station) أبعد عنها ويعرف هذا بمفهوم فقد المسار، وبالتالي يعطى متوسط قوة الإشارة المستقبلية P_r عند أي مسافة d من هوائي الإرسال بالعلاقة التالية:

$$P_r = P_o \left(\frac{d}{d_o}\right)^{-\gamma} \quad (2)$$

حيث P_0 هي الطاقة المستقبلية عند مسافة d_0 من هوائي الإرسال، γ عامل خسارة المسار ($2 \leq \gamma \leq 5$) ويأخذ قيمة 2 في الفضاء الحر وهو يعتمد على طبيعة التضاريس، البيئة، الموقع، ارتفاع الهوائي، نوع الهوائي، كما تقدر خسارة الإرسال في الفضاء الحر بحدود 20dB/10km [8,9].



الشكل(1):إعادة استخدام التردد وتداخل القناة المشتركة.

2-2- تداخل القناة المجاورة (ACI: Adjacent Channel Interference):

يحول الأداء غير المثالي لأجهزة الإرسال دون حصر الطاقة التي يتم بثها ضمن النطاق المخصص لكل قناة ترددية حيث يرسل الحامل جزء من طاقته إلى القنوات المجاورة، كما تعجز المرشحات المستخدمة في أجهزة الشبكة المختلفة عن حجب كل تسرب محتمل للطاقة من قنوات ترددية مجاورة مما يؤدي إلى حدوث تشويش على القنوات الترددية المجاورة، وهذا يزيد من كلفة دارات الترشيح في المستقبل ويحتم استخدام طرق متقدمة لمعالجة الإشارة [8,9].

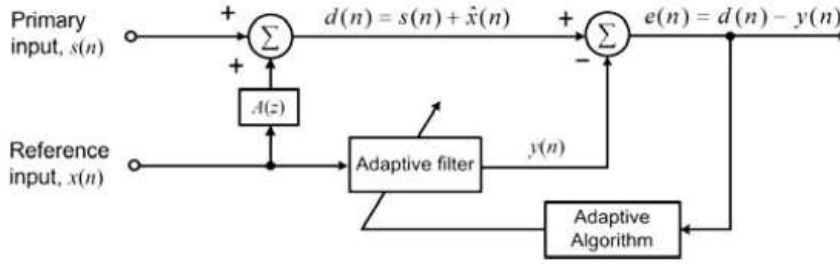
3- مفهوم الترشيح المتكيف:

بما أن مكونات إشارة التشويش مثل التردد والمطال والطور غير ثابتة ومتغيرة مع الزمن، لذلك فإن استخدام المرشحات المتكيفة يساعدنا على اكتشاف هذه التغيرات للأنظمة المتغيرة زمنياً، حيث تستخدم مبدأ التداخل الهدام وتعتمد على تمرير الإشارة المشوشة عبر مرشح يعطي في خرجه إشارة مساوية لإشارة التشويش في التردد والمطال ولكن بطور معاكس وبالتالي ينتج عن هاتين الإشارتين إلغاء إشارة التشويش بينما يبقى الإشارة بدون تغيير نسبياً، حيث يتكيف هذا المرشح مع التغير في خصائص الإشارة من أجل تقليل الخطأ إلى أدنى حد ممكن لذلك يستخدم في إلغاء الضجيج المتكيف وتتبع التردد وتعديل القناة، كما يستخدم لتعويض التشوه الناتج عن وسط النقل بغرض تحسين نسبة الإشارة إلى الضجيج/التداخل.

4- مبدأ عمل نظام إلغاء الضجيج باستخدام المرشح المتكيف:

تتكون هذه الأنظمة من جزأين أساسيين هما المرشح المتكيف وخوارزمية المرشح المتكيف، وكما يظهر في الشكل (2) مرشح متكيف ثنائي المداخل أحدهما حساس أولي يزود بإشارة المعلومات والضجيج المترافق معها (تسمى الإشارة المرغوبة $d(n)$)، والآخر حساس ثانوي يتلقى الضجيج المرجعي والذي يكون غير مرتبط بالإشارة لكنه مرتبط بطريقة غير معروفة بالضجيج المترافق للإشارة.

ترسل الإشارة المرجعية $x(n)$ عبر قناة غير معروفة وتُستقبل بواسطة الحساس الأولي، كما تُرشح بواسطة المرشح المتكيف لإنتاج الخرج $y(n)$ المشابه للضجيج المضاف إلى المعلومات الأصلية وبالتالي تطرح قيمة $y(n)$ من $d(n)$ لإنتاج خرج النظام الذي يعرف بإشارة الخطأ $e(n)$ التي تغذي المرشح المتكيف مرة أخرى كما تتحكم بالخوارزمية المطبقة من أجل تغيير بارامترات المرشح من اللحظة n إلى اللحظة $n+1$ بطريقة متكيفة حتى يصبح خرج المرشح أفضل فأفضل وبالتالي نصل إلى الإشارة المطلوبة [10].



الشكل (2): لاغي الضجيج المتكيف.

5- خوارزميات المرشحات المتكيفة:

تكمن الفكرة الأساسية لهذه الخوارزميات في تمرير الإشارة المشوشة من خلال مرشح يميل إلى إخماد التشويش مع ترك الإشارة دون تغيير، وبالتالي تعمل هذه الخوارزميات على توليد شعاع التصحيح المعتمد على إشارة الدخّل والخطأ، وبالتالي تضبط بارامترات المرشح بتحديث أوزانه في كل تكرار لإنقاص تابع الكلفة لإشارة الخطأ [11]، ويراعى في هذه الخوارزميات العديد من المعايير من أهمها:

- **معدل التقارب:** وهو عدد التكرارات المطلوبة من الخوارزمية لضمان وصول المرشح إلى المركبات المثالية التي ترتبط مع القيمة الدنيا لتابع الأداء، وكلما كان حجم الخطوة أكبر تكون الخوارزمية أسرع تقارباً.
- **الملاحظة:** قدرة الخوارزمية على ملاحقة التغيرات في البيئة غير الثابتة.
- **خطأ الحالة الثابتة (MSE: Mean Square Error):** وهو قياس يشير إلى كيفية ضبط النظام من أجل الوصول إلى التصميم المطلوب وهو مربع الفرق بين الإشارة الحقيقية وإشارة الخطأ.
- **التعقيد الحسابي:** عدد العمليات المطلوبة لإتمام الخوارزمية بشكل كامل في تكرار واحد بالإضافة إلى الذاكرة المطلوبة لتخزين المعطيات أثناء عمل الخوارزمية على الحاسب.

5-1- خوارزمية LMS (Least Mean Square Algorithm):

تتميز خوارزمية LMS ببساطتها وسهولة تنفيذها بالإضافة إلى انخفاض تعقيدها الحسابي حيث تتطلب ذاكرة وعدد عمليات حاسوبية أقل وهذا ما يجعلها ملائمة لتطبيقات الزمن الحقيقي، ويعتمد تابع الكلفة لهذه الخوارزمية على التقدير اللحظي للبيانات المتاحة حيث لا يتطلب معرفة مسبقة بإحصائيات الإشارة (مصفوفة الارتباط الآلي لمداخل نقاط تفرع المرشح (R) وشعاع الارتباط المتبادل بين مداخل نقاط التفرع والاستجابة المرغوبة (P)) ونعبر عن خوارزمية LMS بالعلاقات الثلاث التالية:

$$y(n) = W^T(n)X(n) \quad (3)$$

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (4)$$

$$W(n+1) = W(n) + \mu e(n)X(n) \quad (5)$$

حيث أن $d(n)$ هي الإشارة المرغوبة، $e(n)$ إشارة الخطأ، $y(n)$ خرج المرشح المتكيف، μ حجم الخطوة للمرشح ويحدّد عن طريق التجريب والمحاكمة، $W(n)$ شعاع الوزن للمرشح، $X(n)$ شعاع إشارة دخل المرشح، $W(n+1)$ تحديث شعاع وزن المرشح [12].

6- سيناريو التداخل:

إن كل محطة قاعدية تتحكم بالطاقة المرسلّة منها إلى المستخدمين داخل الخليّة ولكنها تكون غير قادرة على التّحكم بالطاقة المرسلّة منها إلى الخلايا المجاورة لذلك فهي تعاني من التداخل مع محطة قاعدية أخرى تعمل على نفس التردد أو مع المستخدمين فيها، وبالتالي فإنّ أسوأ سيناريو تداخل يحدث عندما تستقبل المحطة القاعدية الإشارة الأضعف من MS على حدود الخليّة (تابع لها) في الوقت الذي تستقبل فيه تداخلات قوية من مواقع الخلايا المشابهة، وتحدث حالة التداخل الأسوأ بين محطتين قاعديتين عندما تقعان بشكل مواجه لبعضهما البعض [13].

أما أسوأ سيناريو تداخل من القناة المجاورة فيحدث عندما يقترب المشترك كثيراً من المحطة القاعدية في الوقت الذي تعمل خلاله على قناة مجاورة وبالتالي يقوم MS بالتأثير على المحطة القاعدية وعندما يصبح قريب جداً منها يتم التقليل من طاقة الإرسال له من خلال خوارزميات التّحكم بالطاقة حتى الوصول إلى الحد الأدنى المسموح ومع ذلك فإنّ الطاقة المنقولة لا تزال أعلى من ذلك وهذا ما سيسبب زيادة في التداخل.

يحدد مقدار طاقة التداخل من القناة المجاورة حسب القيم الموصى بها حيث لكل نظام عتبة معينة يجب عدم تجاوزها عند أي من الترددات المتاحة في النظام، فمثلاً في نظام GSM إذا كان المرسل هو المحطة القاعدية وكانت طاقة الإرسال تقارب 43dBm (20w) فإنّ مستوى الطاقة يجب ألا يتجاوز -60dBm، أما في حالة الأجهزة التي تبت بطاقة منخفضة كالجهاز المحمول فإنّ المعايير تسمح بمستوى طاقة أعلى، أمّا في النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (UMTS: Universal Mobile Telecommunications System) فيكون مستوى الطاقة من القناة المجاورة بحدود -58dBm تقريباً للمسار الهابط و-79dBm للمسار الصاعد وهكذا بالنسبة لبقية الأنظمة يحدد مقدار معين لطاقة التداخل المسموحة حسب القيم الموصى بها...

وبما أنّ مفاهيم الأجيال مشتركة ابتداءً من الجيل الثاني انتهاء بالجيل الحالي وما سيليه حيث أنّ الاختلافات الجوهرية بين هذه النظم لا تمس المبادئ الأساسية وإنّما الطرق المتبعة لاستثمار هذه المبادئ وإنجازها على أرض الواقع، حيث أنّ مبدأ وأغراض تعدد النفاذ مشتركة بين النظم المختلفة أمّا طريقة تحقيقها فهي المختلفة من جيل لآخر، لذلك سوف نختار للدراسة تردد موجة حاملة يقع ضمن ترددات نظام GSM كونه القاعدة الأساسية التي انطلقت منها الأجيال اللاحقة حيث أنّ المبادئ التي تستند إليها بنيته مشتركة في جوهرها وبينه وبين النظم الأخرى بالإضافة إلى أنّه يشمل كل ظواهر التداخل الممكن حدوثها في الوقت الذي ينفرد فيه كل جيل لاحق بالتخفيف من بعضها، حيث نفرض أنّ MS في حال اتصال مع المحطة القاعدية (مسار صاعد) على التردد $f_c = 900\text{MHz}$ في الوقت الذي تستقبل فيه هذه المحطة التردد ذاته من المحطة القاعدية العاملة على نفس التردد والواقعة على الإطار الأول.

ثمّ ندرس تداخل الإشارة نفسها مع القناة المجاورة العاملة على التردد $f_{(ACC)} = 900.2\text{MHz}$ والذي يبعد عن تردد الإشارة الأصلية بمقدار 200KHz (عرض القناة في نظام GSM).

وبفرض أنّ نصف قطر الخليّة 500m (منطقة مزدحمة) $N=12$ وأنّ MS يبيت بطاقة تقدّر بحوالي 0.5W ويقع على بعد 400m من هوائي الاستقبال في المحطة القاعدية، وكما ذكرنا سابقاً أنّ خسارة المسار تقدّر بـ 20dB/10km في الفضاء الحر وفي المناطق الأخرى بحوالي 40dB/10km لذلك نعتبرها مهملة في حالتنا هذه كما

نهمل تأثير الأنواع الأخرى من الضجيج والتداخل، وبالتالي تصل الإشارة اللاسلكية بنفس القدر من الطاقة تقريباً (0.5W) كما تعطى العلاقة بين الاستطاعة المتوسطة للإشارة المستقبلية المرغوبة P_s ومطالها A كما يلي:

$$P_s = \frac{A^2}{2} \quad (6)$$

بالتعويض في العلاقة السابقة نجد أن $A = 1V$ كما نفرض أنها تصل بزاوية طور مساوية للصفر. أما بالنسبة للإشارة القادمة من المحطة القاعدية المشابهة فعلى فرض أن $\gamma = 2$ وأن طاقة الإرسال لها مرتفعة وتقدر بحوالي 20W فنجد بعد التعويض في العلاقات (1) و (2) و (6) أن $D = 3km$ و $P_r = 0.0188W$ ومطال إشارة القناة المشابهة $A_{CCI} = 0.19V$ ، وبالتالي تصل هذه الإشارة إلى مدخل المستقبل بالتردد نفسه (900MHz) ولكن بفرق طور عن الإشارة الأصلية (نفرضه أي زاوية ضمن المجال $[0^\circ, 359.99^\circ]$ ولتكن $\phi_{CCI} = \frac{\pi}{6}$).

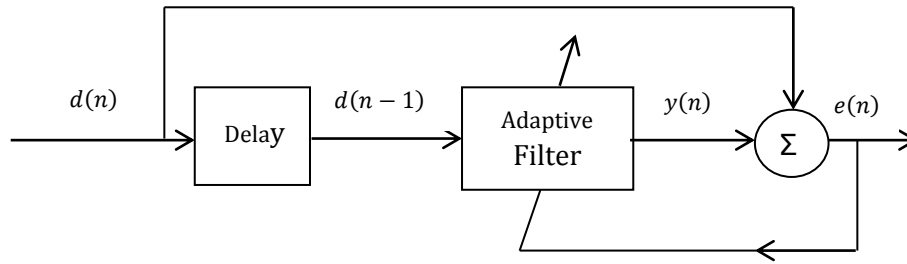
أما بالنسبة لتداخل القناة المجاورة فكما ذكرنا سابقاً بأن معايير نظام GSM تحدد مقدار أعلى طاقة مسموحة للتسريب من القناة المجاورة بحدود -60dBm (أو أعلى بقليل)، لذلك نفرض أن طاقة التداخل بعد تطبيق خوارزميات التحكم بالطاقة تجاوزت الحد المسموح وبلغت حوالي -30dBm وبالتالي بعد التعويض في العلاقة (6) نحصل على مطال إشارة القناة المجاورة $A_{ACC} = 0.00134V$ أما زاوية طورها فمساوية لـ $\frac{\pi}{3}$ (فرضاً). وبالتالي تكون الإشارة المستقبلية عند مدخل الهوائي (بفرض حدوث تداخل القناة المشتركة والقناة المجاورة معاً) مكونة من الإشارة المرغوبة مضافاً إليها إشارتي التداخل وتكتب على الشكل التالي:

$$d(t) = A \cos(2\pi f_c t) + A_{CCI} \cos(2\pi f_c t + \phi_{CCI}) + A_{ACC} \cos(2\pi f_{(ACC)} t + \phi_{ACC}) \quad (7)$$

وبالتالي نقوم بتعويض القيم المحسوبة أعلاه في العلاقة السابقة من أجل تطبيقها على مدخل المرشح المتكيف.

7- إلغاء التداخل باستخدام المرشح المتكيف:

خلال المحاكاة وبشكل مشابه لإشارات الزمن الحقيقي فإن الإشارة المرسله المحاكاة ترسل عبر الوسط الراديوي حيث يضاف التداخل إلى الإشارة المستقبلية في هوائي المحطة القاعدية فنحصل على الإشارة المشوشة (المرغوبة $d(n)$)، ونستخدم في هذه الحالة هوائي واحد بمثابة حساس لاستقبال هذه الإشارة المرغوبة كما نستخدم دارة تأخير لأخذ نسخة مؤخّرة من هذه الإشارة واستخدامها بمثابة إشارة مرجعية لدخل المرشح المتكيف ($x(n) = d(n-1)$) الشكل (3)، وذلك لجعل مكونات التداخل الموجودة في المدخل المرجعي مرتبطة مع تلك الموجودة في المدخل الأولي وذلك عن طريق إدخال فرق طور بسيط بين المكونات الجيبية في المدخلين بحيث يتم إزالة مكونات التداخل في النسخة المؤخّرة بينما يتم تعديل فرق الطور بين المكونات الجيبية في المدخلين بحيث تلغي بعضها البعض عند الجمع حيث نحصل في خرج المرشح $y(n)$ على إشارة خطأ صغيرة وهي تقدير للإشارة المتداخلة مع الإشارة الأصلية ومن ثم يتم طرحها من الإشارة المشوشة لتعطي الإشارة النظيفة $e(n)$ التي تستخدم لقيادة الخوارزمية وتحديث أوزان المرشح، وتستمر الخوارزمية بالتّحديث حتّى يصبح الفرق بين الإشارة $e(n)$ والإشارة الأصلية (المرسله) أصغر ما يمكن، وفي هذه الحالة لا يعتمد الترشح المتكيف على توافر جيّد للمدخلات المرجعية المترابطة حيث يتمكن من توقع الإشارة الأصلية بدون معرفة مسبقة لها، لذلك يعمل المرشح المتكيف في هذه الحالة على مبدأ التنبؤ حيث يكون قادراً على تعزيز قابلية كشف الموجات الكهرومغناطيسية منخفضة المستوى للغاية والمتداخلة مع الإشارة الأصلية [14].



الشكل(3):إلغاء التداخل بواسطة المرشح المتكيف الذي يعمل على مبدأ التنبؤ.

وفي حالتنا هذه استخدمنا النسخة المؤخّرة من الإشارة المرغوبة كإشارة مرجعية حيث تستخدم هذه الطريقة في حال صعوبة الحصول على الإشارة المرجعية، بينما توجد طرق أخرى للحصول عليها يمكن أخذها بالحسبان أثناء التصميم مثل استخدام هوائي إضافي لاستقبال إشارة التداخل حيث يتوضع عند المصدر الرئيسي للتداخل في حال معرفة اتجاهه ويدمج بنفس الوقت مع المرشح المتكيف ويكون عرض شعاعه ضيق ووريقته الرئيسية موجّهة مباشرة إلى مصدر التداخل (حيث تكون الإشارة الأصلية غير موجودة أو ضعيفة بما يكفي لعدم قابلية كشفها) ومن ثم يتم إرسال القياس عبر المرشح المتكيف بينما يتم استقبال الإشارة الأصلية مع إشارة التداخل من قبل الهوائي الأساسي وطالما أنّ مصدر التداخل نفسه في كلا الهوائيين لذلك فإنّ إشارة التداخل عند مدخل الهوائي الأساسي والإضافي ستكون مرتبطة حكماً مع بعضها وبدون ذلك لن يكون المرشح قادراً على إلغاء التداخل.

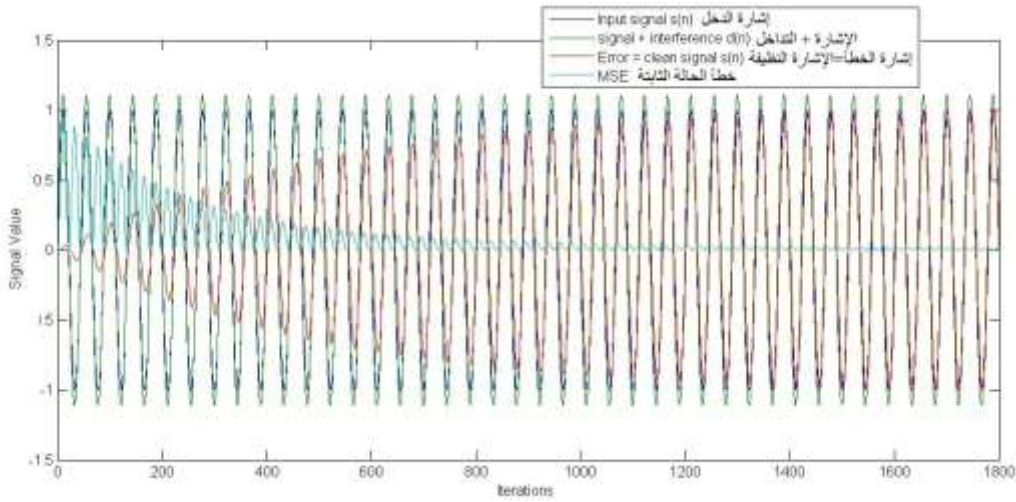
8- إلغاء الضجيج الغوسي الأبيض المضاف AWGN باستخدام المرشح المتكيف:

يختلف عمل المرشح المتكيف كلاغي ضجيج عن عمله السابق للتنبؤ، ففي هذه الحالة يكون مبدأ عمله كما ذكرناه في الشكل (2) حيث يلعب الهوائي في نظامنا الخلوي دور الحساس، و سنتناول في بحثنا هذا إلغاء الضجيج من نوع الغوسي الأبيض المضاف الذي يحاكي العمليات العشوائية التي تتعرض لها الإشارة الخلوية اللاسلكية عبر الوسط الراديوي كما أنّه يملك كثافة طيفية ثابتة عند جميع الترددات، وفي هذه الحالة يرسل المرسل إلى المستقبل إشارة تجريبية تكون عبارة عن نموذج لهذا الضجيج وبحيث تكون معروفة عند كل من المرسل والمستقبل وتستخدم كإشارة مرجعية ومن ثم يحاول المستقبل أن يميز هذه الإشارة عن طريق المرشح المتكيف الذي يحدّد العلاقة بين هذا الضجيج المرجعي ومركبة الضجيج المرتبطة مع الإشارة المقاسة، أو يمكن استخدام هوائيين أحدهما يستقبل الإشارة مع الضجيج المحيط والثاني يستخدم كهوائي مرجعي يستقبل الضجيج المحيط فقط وطالما أنّ هذا الضجيج المحيط يلتقط من قبل الهوائيين المتباعدين والمرتبطين مع بعضهما لذلك تكمن مهمة المرشح المتكيف في قدرته على ضبط خصائصه بالاعتماد على هذا الارتباط بين هذه الإشارات المستقبلية، ومن ثم فإنّ إشارة الضجيج المحيط الملتقطة بواسطة الهوائي الثاني والتي تستخدم كمدخل مرجعي للمرشح تؤرّن عن طريق الاستجابة النبضية للمرشح المتكيف ومن ثمّ يطرح خرج المرشح من الإشارة المرغوبة (المستقبلية بواسطة الهوائي الأول) لنحصل على الإشارة $e(n)$ التي تستخدم لتحديث مركبات المرشح [15]، كما توجد طريقة أخرى تقوم بإجراء قياس دوري لمقدار نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR: Signal To Noise Ratio) عن طريق خوارزمية معينة ومقارنة القيم المقاسة مع عتبة معينة ويتم اختيار إشارة دون هذه العتبة كإشارة ضجيج مرجعي وهذه الطريقة تكفي بدارة استقبال واحدة غير أنّ أدائها لا يؤدي في كثير من الأحيان النتائج المثلى المرجوة.

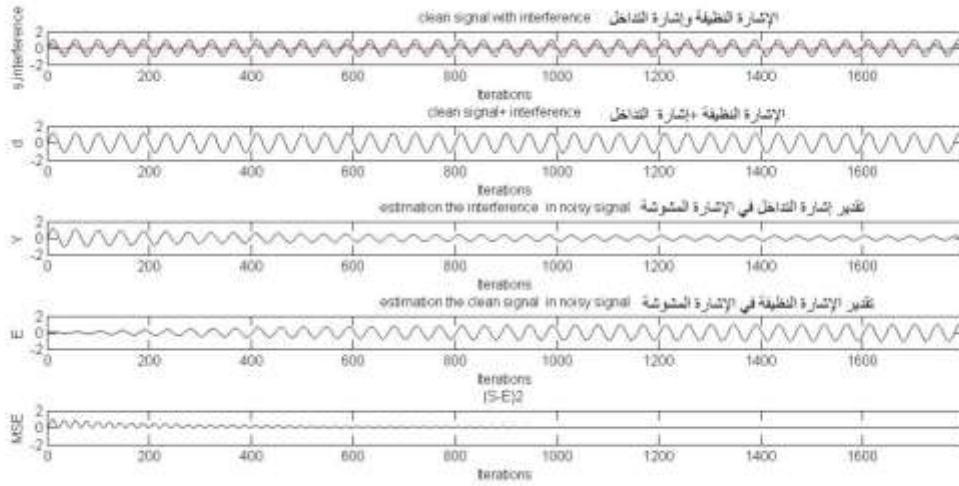
النتائج والمناقشة:

حالة التداخل:

بعد تعويض القيم المحسوبة في العلاقة (7) نقوم بتطبيقها على المدخل الرئيسي للمرشح المتكيف ذو الطول $(L = 10)$ بينما نطبق النسخة المؤخرة منها على المدخل الثانوي كإشارة مرجعية، كما نقوم بتطبيق خوارزمية LMS ذات حجم الخطوة $\mu = 0.001$ والتي تعمل وفق المعادلات المذكورة في العلاقات (3)، (4)، (5) مع الأخذ بعين الاعتبار أن الوزن الابتدائي مساو للصفر $(W(0) = 0)$.



(a)



(b)

الشكل (4): إلغاء تداخل القناة المشتركة والقناة المجاورة معاً باستخدام المرشح المتكيف.

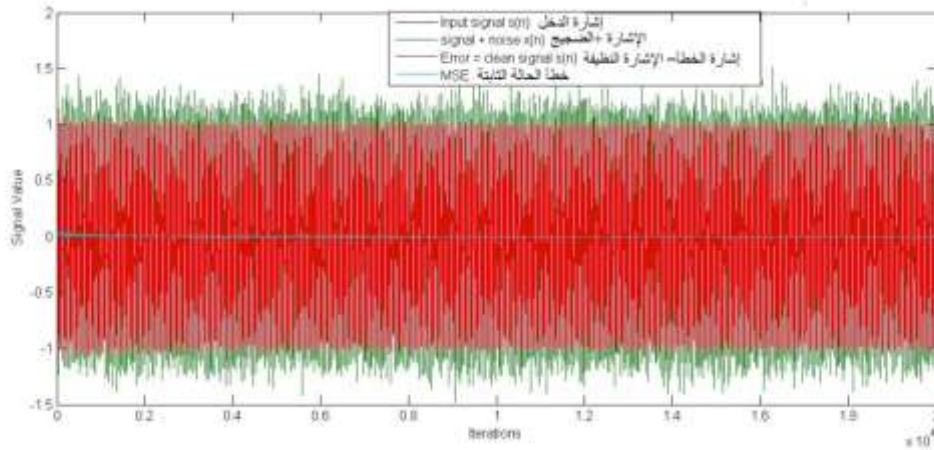
ونلاحظ من نتائج تطبيق الخوارزمية في الشكل (4) أنه في البداية لا يتبع خرج المرشح الإشارة المطلوبة ولكن بعد عدد من التكرارات (1800 تكرار) فإن المرشح يتكيف مع الإشارة ويعطي إشارة خطأ E مطابقة للإشارة الأصلية S .

حالة الضجيج الغوسي الأبيض المضاف:

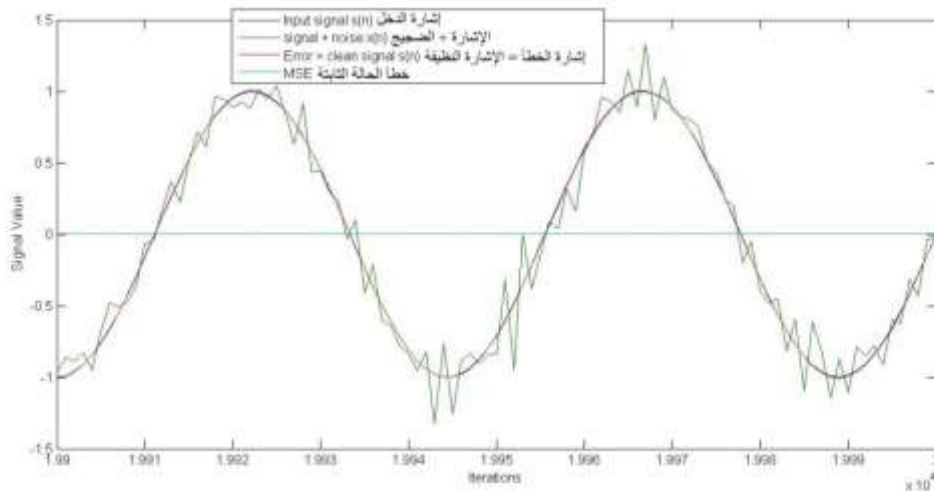
ندرس أيضاً مرشح LMS ذو الطول $(L = 10)$ إشارة دخله عبارة عن الإشارة المستقبلية في المحطة القاعدية من MS العامل على التردد الصاعد 900MHz والتي تعطي بالعلاقة التالية:

$$d(t) = A \cos(2\pi f_c t + \varphi) \quad (8)$$

حيث $A = 1V$ & $\varphi = 0^0$ ونفرض أنّها تتعرض فقط لضجيج غوص الأبيض المضاف ذو قيمة الانحراف المعياري $(\sigma = 0.36)$ مع إهمال تأثير جميع أنواع الضجيج والتداخل الأخرى، كما يعمل هذا المرشح وفق حجم خطوة $\mu = 0.01$.



الشكل (5-a): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لإلغاء الضجيج الغوسي الأبيض المضاف.



الشكل (5-b): تقريب للنتائج التي تظهر في الشكل (5-a).

ونلاحظ من الشكل السابق أنّ المرشح يتقارب بسرعة كبيرة بعد عدد قليل من التكرارات، كما أنّ تزايد قيم خطأ الحالة الثابتة (EMSE: Excess Mean Square Error) منخفض والخوارزمية مستقرة كما هو موضح في الجدول (1).

الجدول (1): تزايد خطأ الحالة الثابتة MSE عند إلغاء الضجيج الغوسي الأبيض المضاف باستخدام خوارزمية LMS.

MSE = (S - E) ²	التكرار	MSE = (S - E) ²	التكرار
0.00017	12000	0.0032	2000
0.00013	14000	0.0013	4000
0.000074	16000	0.00036	6000
0.000074	18000	0.00025	8000
0.000073	20000	0.00023	10000

الاستنتاجات والتوصيات:

لقد حقق المرشح المتكيف نجاحاً عند عمله على مبدأ التنبؤ لتقدير إشارات التداخل المتراكبة على الإشارة الأصلية ثم قام بحذفها من الإشارة المشوشة للحصول على الإشارة الأصلية بعد حوالي 1800 تكرار ونظراً لكون خوارزمية LMS بسيطة ومنخفضة التعقيد الحسابي لذلك فهذا يتم بزمن قصير جداً وبشكل ملائم للتطبيق في الزمن الحقيقي، كما أن قيمة MSE عند التكرار 1800 تكون من رتبة 10^{-4} وهذا يدل على مقدار التوافق الكبير لإشارة الخطأ مع الإشارة الأصلية، ويمكن أن تستخدم هذه التقنية حتى عند القيم المنخفضة لنسبة الإشارة إلى التداخل طالما أن الإشارة الأصلية لا تزال أقوى من إشارات التداخل، كما تتميز بقدرتها على فصل العديد من إشارات التداخل التي لها نفس الطبيعة معاً باستخدام مرشح متكيف واحد مما يعطي مرونة في التصميم.

كما أن عمل المرشح المتكيف كلاجي ضجيج حقق قيم منخفضة جداً لـ MSE كما يظهر في الجدول (1) وخصوصاً عند التكرارات الأخيرة، بالإضافة إلى أن الخوارزمية تقاربت (الوصول إلى التصميم المثالي) بعد حوالي 1300 تكرار وهذا يقود إلى أن حجم الخطوة وعدد التكرارات تلعب دوراً أساسياً في زمن التقارب وقيم MSE وهذا ما يتم أخذه بالحسبان أثناء التصميم، كما يمكن لهذا المرشح أن يعمل في ظروف الضجيج السيئة.

ويمكن متابعة العمل وفق عدة محاور أهمها:

- إعادة الدراسة السابقة باستخدام أنواع أخرى من الخوارزميات سواء كانت من عائلة خوارزمية LMS نفسها أو من عائلات أخرى مثل خوارزمية RLS وغيرها ومقارنة النتائج مع بعضها من ناحية معايير الأداء لهذه الخوارزميات.
- في حال وجود العديد من إشارات الضجيج الخارجية يمكن وضع عدة مرشحات متكيفة على التسلسل طالما أن إشارات الضجيج المرجعي متاحة في النظام.
- يمكن إلغاء الضجيج المتكيف ليس فقط على مستوى الإشارة اللاسلكية بل في السماعات الرأسية وسماعات الهاتف المحمول أيضاً، حيث أنه من الضروري زيادة مستوى إشارات الكلام وخاصة عند الأشخاص الذين يعانون من ضعف السمع ولكن التضخيم هنا لا يكون حلاً حيث لا ينقص سوء الفهم بل يزيد طاقة الضجيج، لذلك تكون الطريقة المفضلى هي توظيف مكرفونين (بمثابة حساسين) مع نظام متكيف حيث يمثل المرشح المتكيف في هذه الحالة نموذج لتابع النقل للأذن.
- يمكن إنشاء نظام الإلغاء المتكيف للضجيج (ANC: Active Noise Cancellation) على شريحة (ARM Mini 2440 SBC) بداخل الجهاز المحمول والتي تستخدم كلوحة هدف لإنشاء تطبيق في الأجهزة المحمولة

التي تعمل على نظام الأندرويد، وهذا ما يجده المستخدم عندما يضغط على زر call حيث يظهر تنبيه له على الشاشة على شكل رسالة (فيما إذا كان سينشط الإلغاء المتكيف للضجيج ANC أم لا) وفي حال ضغط المستخدم على زر نعم (YES) سيقفل وتبدأ عملية ترشيح الصوت أثناء المحادثة عبر جهاز المحمول وذلك بتمرير إشارة الكلام فقط وإلغاء الضجيج الخلفي (شارع- مطعم...) [16].

المراجع:

- [1] KRIER,J.R., AKYILDIZ,I.F. *Active Self-Interference Cancellation of Passband Signals Using Gradient Descent*. IEEE 24th International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications(PIMRC), 2013, 1212-1216 .
- [2] QUADRI,A., MANESH,M.R., KAABOUCH,N. *Denoising Signals in Cognitive Radio Systems Using An Evolutionary Algorithm Based Adaptive Filter*. IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference(UEMCON), 2016.
- [3] HOSSAIN,M., FARHAD,S.M., RIASAT,T. *Performance analysis of RLS and VSS-LMS channel estimation techniques for 4G MIMO OFDM systems*. IEEE 15th International Conference On Computer and Information Technology(ICCI), 2012, 267-270 .
- [4] AFROZ,F., HUQ,A., AHMED,F., SANDRASEGARAN,K. *Performance Analysis Of Adaptive Noise Canceller Employing NLMS Algorithm*. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN), Vol. 7, N^o.2, 2015, 46-58.
- [5] REKHA,N., JABEEN,F. *Novel Technique for Comprehensive Noise Identification and Cancellation in GSM Signal*. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE),Vol. 8, N^o.2, 2018,1222-1229.
- [6] REKHA,N., JABEEN,F. *Study on Approaches of Noise Cancellation in GSM Communication Channel*. Communications on Applied Electronics (CAE), Vol.3, N^o. 5, 2015, 5-11 .
- [7] CHIDIEBERE,C.I., OMIJEH,B.O. *Reduction of Co-Channel Interference In Cellular Network Using Sectorization Method*. American Journal of Engineering Research (AJER), Vol.7, N^o.10, 2018, 204-218.
- [8] SHAMSAN,Z.A., ABDULRAZAK,L.F., ABDRAHMAN,T. *Co-channel and Adjacent Channel Interference Evaluation for IMT Advanced Coexistence with Existing Fixed Systems*. IEEE INTERNATIONAL RF AND MICROWAVE CONFERENCE PROCEEDINGS MALAYSIA, 2008 ,65-69.
- [9] SBIT,S., DADI,M.B., CHIBANI,B. *Co and Adjacent Channel Interference Evaluation in GSM and UMTS Cellular Networks*. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 4, N^o.11, 2015, 462-465.
- [10] DIXIT,SH., NAGARIA,D. *LMS Adaptive Filters for Noise Cancellation: A Review*. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 7, N^o.5, 2017, 2520-2529.
- [11] PETER,N.A., KUFRE,U., SIMEON,O. *Development and Comparative Study of Least Mean Square – Based Adaptive Filter Algorithms*. International Multilingual Journal of Science And Technology(IMJST), Vol.3, N^o.12, 2018,360-372.
- [12] LEE,J.H., OOI,L.E., KO,Y.H. , TEOH,C.Y. *Simulation for noise cancellation using LMS adaptive filter*. International Conference on Aerospace, IOP Science, Vol.211, 2017,1-6.

- [13] OHANEME,C.O., IDIGO,V.E., NNEBE,S.U., IFEAGWU.E.N. *Analysis Of Interference And Chanel Capacity In A CDMA Wireless Network Using Dynamic Channel Assignment (DCA)Strategy*. International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), Vol. 4, N^o.5, 2012, 149-163.
- [14] DAI,J., HAN,Z., ZHANG,F. *Research on the Interference Cancellation Based on Adaptive Algorithms*. International Journal of Intelligent Engineering & Systems, Vol.5, N^o.4, 2012, 18-25 .
- [15] FRECH,A., RUSSER,P. *Real-time Ambient Noise Cancellation for EMI Measurements on Open Area Test Sites*. IEEE, 2012 ,213-216.
- [16] RAVIKANTH,N., SANKET,D. *Design and Development of Noise Cancellation System for Android Mobile Phones*. SASTECH , Vol.11, N^o.1, 2012, 33-40.