

تخفيض التداخل متعدد المسارات في الأنظمة الخلوية باستخدام المرشح المتكيف

د. ياسر عملة*

د. هيثم الرضوان**

فرح جنيكه***

(تاريخ الإيداع 2020/ 6/16. قبل للنشر في 2020/11/ 30)

□ ملخص □

يرافق انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية في الأنظمة اللاسلكية العديد من الظواهر المسببة لإضعاف قوة الإشارة المستقبلية، مثل تعدد المسارات التي تسلكها هذه الأمواج من هوائي الإرسال إلى هوائي الاستقبال، ما يسبب انعكاسها وتبعثرها عند اصطدامها بالأسطح التي تعترضها، وهذا يسبب تشوه الإشارة الأصلية نتيجة تداخلها مع الإشارات غير المباشرة أو المنعكسة، لذا حاولت الأجيال المختلفة من الأنظمة الخلوية التخفيف من هذا التداخل عن طريق استخدام العديد من الطرق التقليدية، ولكن لم تتجح كثيراً في حل هذه المشكلة، لذلك يهدف هذا البحث إلى تطبيق تقنية الترشيح المتكيف باستخدام خوارزمية المربّع الوسطي الأصغري (LMS: Least Mean Square) للتخفيف من هذا التداخل، وتحسين نسبة الإشارة إلى التداخل بشكل كبير، كما يدرس البحث تأثير مطال الإشارات المنعكسة وطورها على أداء المرشح في إزالة هذا الأثر. الكلمات المفتاحية: التداخل متعدد المسارات، المرشح المتكيف، خوارزمية LMS، الشعاع المباشر، الشعاع المنعكس.

* أستاذ في قسم الهندسة الإلكترونية والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث - حمص - سورية.

** أستاذ مساعد في قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** طالبة دراسات عليا (دكتوراه) في قسم الهندسة الإلكترونية والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث - حمص - سورية.

Reducing multipath interference in cellular systems using adaptive filter

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

(Received 16 /6 /2020. Accepted 30/ 11/2020)

□ ABSTRACT □

The electromagnetic waves propagation in wireless systems is accompanied by many phenomena that cause causes weakening of the received signal power, such as the multipath that these waves take from the transmitting antenna to the receiving antenna, which cause reflection and scattering of these waves when colliding with the surfaces that encounter, and this causes distortion of the original signal as it interferes with the indirect or reflected signals, so different generations of cellular systems have tried to mitigate this interference by using many traditional methods, but have not been very successful in solving this problem. Therefore, the research aims to apply the adaptive filtration technique using LMS algorithm to reduce this interference and significantly improve the signal-to-interference ratio, and the research also examines the amplitude and phase effect of the reflected signals on the filter's performance to remove this effect.

Key Words: Multipath Interference, adaptive filter, LMS algorithm, direct ray, reflected ray.

*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.

1-مقدمة:

تشع الإشارة الراديوية بعيداً عن هوائي الإرسال، وهذه الإشارة تنتشر بسرعة الضوء في الفضاء مما يسبب انتشارها في اتجاهات بعيدة، وبالتالي سوف تنعكس أجزاء من هذه الموجة بعد اصطدامها بالأسطح، مسببة تبعثر الموجة، وخاصة في المدن، حيث تنعكس الموجة عن المباني والسيارات المتحركة، لذا يحدث تعدد المسارات عندما تأخذ هذه الإشارة طريقين أو أكثر من هوائي الإرسال إلى هوائي الاستقبال، حيث يكون لكل مسار طول مختلف عن الآخر، ما يسبب تبايناً في أوقات وصولها عبر الهواء (مثلاً في الفراغ الحر يأخذ الضوء $3\mu s$ ليعبر 1km).

ونتيجة حدوث هذه الانعكاسات يلتقط المستقبل نسخاً من هذه الإشارة المرسله، حيث تختلف كل نسخة عن الأخرى في مقدار التخميد (المطال) والتأخير وإزاحة الطور، وينتج عن ذلك خفوت لطاقة الإشارة المستقبلية.

وفي الاتصالات الراديوية الخلوية مثل (GSM: Global System for Mobile Communications) يمكن أن يسبب تعدد المسارات أخطاء، ويؤثر فيها على جودة الاتصالات مثل تداخل الرموز (ISI: Inter Symbol Interference)، كما أن شدة الحقل في منطقة التغطية تتغير بالاعتماد على مطال هذه الإشارات ذات المسارات المتعددة، ومقدار التوافق، أو التعاكس بالطور عند جمعها، وهذا ما ينتج عنه التداخل البناء أو الهدام [1,2].

وبما أن تعدد المسارات يشوه الإشارة الأصلية من خلال تداخلها مع الإشارات غير المباشرة (المنعكسة)، فقد تم اللجوء إلى عدة حلول تناولتها العديد من الدراسات السابقة للتخفيف من هذا التداخل، من أهمها توضع الهوائي في مكان الإشارات الأقوى. لكن هذه الطريقة غير قادرة على تقدير مستوى هذه الإشارات عند موقع معين سابق للتركيب، كما أن الهوائيات الاتجاهية قادرة على إنقاص حجم مكونات الإشارة المنعكسة القادمة، ونظراً لكون المستخدم في الأنظمة الخلوية يتحرك بسرعة من موقع إلى آخر خلال عملية التنقل، فإنه يجب اختيار هوائي يبيت في جميع الاتجاهات (Omnidirectional) لضمان احتياجاته، وبالتالي فإن استخدام هذا النوع من الهوائيات سيزيد مشكلة التداخل في البيئة متعددة المسارات، لأنه سيجمع الإشارات من كل اتجاه [3]، كما تناولت بعض الأبحاث استخدام بعض الأنظمة لهوائي إرسال بحيث تسمح لجهاز الاستقبال بأن يختار الإشارة الأقوى من كلا الهوائيين، وبالتالي إذا كانت الإشارة من أحدهما تسبب خفوتاً فإن الإشارة الأخرى من الهوائي الثاني يمكن ألا تسبب ذلك، وهذا يعد مكلفاً مادياً، أو بطريقة أخرى يمكن للمرسل أن يرسل المعلومات عبر قناتين أو أكثر من القنوات المنفصلة إحصائياً، بينما يجمع هوائي الاستقبال هذه الطاقة، وبمعالجة دقيقة سوف يستعيد المرسل المعلومات، وقد يتسبب ذلك في ضياع بعضها، بالإضافة إلى أن هناك العديد من الدراسات التي تشير إلى استخدام طريقة مواد الامتصاص وغيرها، أو المكونات البرمجية التي تتضمن خوارزميات متطورة لإنقاص مصادر خطأ القياس غير المعروفة المتضمن تعدد المسارات [4].

لذلك اتجهت الدراسات الحديثة في عالم الاتصالات إلى تقنيات وطرق معالجة إشارة مختلفة عن الطرق التقليدية، مثل استخدام المرشح المتكيف لتخفيض التداخل بشكل كبير والسماح بتحسين جودة الإشارة المستقبلية، حيث يتميز هذا المرشح ببنية بسيطة وتكلفته المادية المنخفضة، بالإضافة إلى قدرته على تغيير بارامتراته بشكل آلي، ويتطلب تصميمه القليل أو عدم المعرفة بخصائص الإشارة أو التداخل [5].

2- أهمية البحث وأهدافه:

بما أن إرسال المعطيات في أي نظام اتصالات لاسلكي يتأثر بالضجيج والتداخل بشكل عام والتداخل متعدد المسارات بشكل خاص، ما يؤثر على جودة نقل البيانات، وخاصة في الأنظمة الخلوية الراديوية، حيث ينتج عن هذا التداخل انخفاض جودة الاتصال، ومن الممكن أن يسبب فقدان المكالمات الصوتية أو انقطاع الإرسال في حال العمل على شبكة الإنترنت.

وبما أن جميع الطرق التي تم ذكرها سابقاً لها العديد من السلبيات، لذا يعد المرشح المتكيف البديل الأفضل لجميع الطرق السابقة، نظراً لقدرته على العمل في بيئة غير معروفة، وإمكانياته الجيدة جداً للملاحقة، حيث يعمل بفعالية على إلغاء التداخل متعدد المسارات بدرجات متفاوتة تابعة لمقدار الخفوت الذي يحصل على الإشارة الأصلية عند جمعها مع الإشارات المنعكسة.

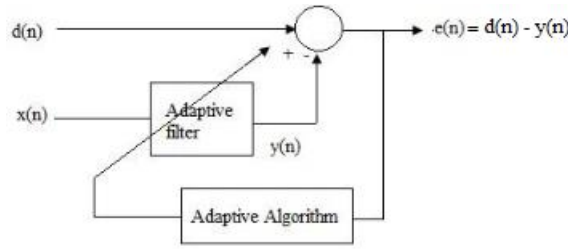
لذلك يهدف البحث إلى تخفيض التداخل الناتج عن المسارات المنعكسة (غير المباشرة) وبالتالي زيادة نسبة الإشارة الحاملة إلى التداخل بشكل كبير، مقارنة مع الطرق المتبعة سابقاً، كما يهدف البحث إلى تحقيق الملاحقة السريعة والتعقيد الحسابي المنخفض عن طريق استخدام خوارزمية LMS التي تقود المرشح المتكيف وتتميز بأنها أبسط الخوارزميات وأقلها كلفة وتعقيداً، ما يجعلها ملائمة لتطبيقات الزمن الحقيقي.

3- طرائق البحث ومواده:

3-1- مبدأ عمل المرشح المتكيف:

يستخدم المرشح المتكيف لملاحقة سلوك الإشارات المتغيرة زمنياً بسبب خصائص ضبطه الذاتي في الزمن الحقيقي، حيث يلاحق التغيرات في إشارة الدخل بالمقارنة مع إشارة مرجعية وذلك عن طريق الخوارزمية 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، لذلك تعد عملية تقدير الضجيج/التداخل فعالة بمساعدة المرشح المتكيف ويتألف من مكونين أساسيين هما المرشح الرقمي، والخوارزمية المتكيفة. وكما هو واضح في الشكل (1) وجود حساسين أحدهما يسمى الحساس الأولي ويزود بالإشارة الأصلية (الإشارة الحاملة للمعلومات) مع إشارة التداخل المرافق لها (ويسمى مجموع هاتين الإشارتين بالإشارة المرغوبة $d(n)$)، والآخر حساس مرجعي يزود المرشح بالتداخل فقط، ومكون التداخل في خرج الحساس المرجعي غير مرتبط مع الإشارة الأصلية، لكنه مرتبط مع مكون التداخل المرافق لها.

ويتم ضبط أوزان المرشح آلياً ليعطي في خرج إشارة $y(n)$ تعد بمثابة تقدير للتداخل المرافق للإشارة، حيث تتغير استجابة الخرج وفقاً للإشارة المرغوبة، بالاعتماد على الأوزان الحالية للمرشح، ومن ثم يتم طرح $y(n)$ من الإشارة المرغوبة $d(n)$ لنحصل على الإشارة $e(n) = d(n) - y(n)$ التي تسمى بإشارة الخطأ، وتتحكم بالخوارزمية المتكيفة، حيث تستمر الخوارزمية بالتكرار عبر حلقة تغذية عكسية حتى يصبح الفرق بين إشارة الخطأ والإشارة الحقيقية أصغر ما يمكن وعندها نحصل على إشارة $e(n)$ قريبة جداً من إشارة الدخل (إشارة المعلومات الأصلية المرسل) [6,7].



الشكل (1): مبدأ عمل المرشح المتكيف.

3-2- خوارزميات المرشحات المتكيفة:

تقوم هذه الخوارزميات بتخميد إشارة التشويش مع ترك الإشارة دون تغيير، حيث تقوم بتوليد شعاع التصحيح بالاعتماد على إشارة الدخّل وإشارة الخطأ، لذا فهي تقوم بتحديث أوزانها في كلّ تكرار لضبط بارامترات المرشح من أجل الوصول إلى أفضل تقدير للإشارة المرسلّة المطلوب كشفها [8,9].

3-2-1 خوارزمية LMS:

تتميّز ببساطتها وسهولة تنفيذها وانخفاض تعقيدها الحسابي على عكس خوارزميات أخرى كخوارزمية RLS مثلاً التي تعطي نتائج جيّدة لكن تنفيذها صعب وتعقيدها الحسابي كبير، لذا تلائم خوارزمية LMS تطبيقات الزمن الحقيقي، وتستخدم للتخفيف من تأثير إشارات التداخل في الأنظمة الخلوية، حيث تتميز بعدم حاجتها لمعرفة مسبقة عن إحصائيات الإشارة أو التداخل، فهي تعتمد على التقدير اللحظي للبيانات المتاحة من أجل حساب الخطأ المربع الأصغري، وهي تقوم بعملها وفق الخطوات التالية:

- حساب إشارة الخرج بالاعتماد على شعاع الوزن الحالي $W^T(n)$ وشعاع إشارة الدخّل $X(n)$ (التي تعبر عن الإشارة المرجعية المطبقة على الخوارزمية) وفق العلاقة:

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

- حساب الفرق بين الإشارة المرغوبة $d(n)$ وإشارة خرج المرشح المتكيف $y(n)$ من أجل الحصول على إشارة الخطأ $e(n)$ وفق العلاقة:

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

- تحديث مركبة شعاع الوزن $W(n)$ وفقاً لإشارة الدخّل $X(n)$ وإشارة الخطأ $e(n)$ من أجل الحصول على القيمة المقدرة لإشارة التداخل $y(n)$ في التكرار التالي، وذلك وفق العلاقة:

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

حيث $W(n+1)$: تحديث شعاع وزن المرشح.

μ : ثابت صغير موجب يسمى حجم الخطوة، وهو يتحكّم بالاستقرار ومعدّل التقارب للخوارزمية [10,11].

3-3- التداخل متعدد المسارات:

سوف نعتبر أنّ إشارة واحدة (الشعاع المباشر) تنتشر بشكل مباشر من المرسل إلى المستقبل (وعادة يكون الطريق المباشر "ليس دائماً" هو الإشارة الأقوى في هوائي الاستقبال)، أمّا الإشارات الأخرى المنعكسة فستجد طريقها أخيراً للوصول إلى هوائي الاستقبال عبر العديد من المسارات المختلفة.

كما أنّ هذه الأشعة غير المباشرة ستصل بعد الشعاع المباشر، حيث تكون طاقتها أضعف مقارنة مع الشعاع المباشر، وبالتالي تكون معادلة الإشارة المباشرة هي:

$$V_D(t) = \cos(\omega_0 t) \quad (4)$$

حيث $\omega_0 = 2\pi f_0$ التردد الزاوي العامل، حيث فرضنا أنّ قيمة مطال الشعاع المباشر = IV وزاوية طوره = 0° .
أمّا معادلات الأشعة المنعكسة فهي:

$$\begin{aligned} V_{R.1} &= \rho_1 \cos[\omega_0(t - \tau_1)] \\ V_{R.2} &= \rho_2 \cos[\omega_0(t - \tau_2)] \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \end{aligned} \quad (5)$$

$$V_{R.n} = \rho_n \cos[\omega_0(t - \tau_n)]$$

حيث ρ_n : عدد حقيقي يصف الفرق في المطال بين الشعاع المباشر والشعاع المنعكس ذي الترتيب n -th.

τ_n : الفرق الزمني في الوصول بين الشعاع المباشر والشعاع المنعكس ذي الترتيب n -th ، حيث يصل الشعاع n -th بعد τ_n ثانية من وصول الشعاع المباشر [2].
وبالتالي يمكن كتابة المعادلات السابقة كما يلي:

$$\begin{aligned} V_{R.1} &= \rho_1 \cos(\omega_0 t - \phi_1) \\ V_{R.2} &= \rho_2 \cos(\omega_0 t - \phi_2) \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \end{aligned} \quad (6)$$

$$V_{R.n} = \rho_n \cos(\omega_0 t - \phi_n)$$

حيث:

$$\begin{aligned} \phi_1 &= -\omega_0 \tau_1 \\ \phi_2 &= -\omega_0 \tau_2 \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \end{aligned} \quad (7)$$

ϕ_n : زاوية طور الأشعة المنعكسة و تأخذ قيم بين 0° و 180° .

وبما أنّ هذه الأشعة المنعكسة يطرأ عليها إزاحة طور واستقطاب وتغيّرات أخرى عندما تصطدم بسطوح التبعثر، لذلك فرضنا أنّها تملك مطالات مختلفة (توصف بـ ρ_n)، حيث تتغيّر خصائص القنوات متعدّدة المسارات عادة مع الزمن طالما أنّ هندسة القناة تتغيّر.

3-3-1- تحليل التداخل متعدّد المسارات لشعاعين:

بفرض وصول شعاعين عند هوائي الاستقبال: أحدهما مباشر $V_D(t)$ والآخر منعكس $V_{R.1}(t)$ لذلك تكون الإشارتان عند هوائي الاستقبال على الترتيب كما يلي:

$$V_D(t) = \cos(\omega_0 t) \quad (8)$$

$$V_{R.1} = \rho_1 \cos[\omega_0(t - \tau_1)] \quad (9)$$

ويمكن إعادة كتابة المعادلة (9) على الشكل التالي:

$$\begin{aligned} V_{R.1} &= \rho_1 \cos[\omega_0 t - \omega_0 \tau_1] \\ &= \rho_1 \cos[\omega_0 t + \phi_1] \end{aligned} \quad (10)$$

حيث:

$$\phi_1 = -\omega_0 \tau_1 \quad (11)$$

و ρ_1 ، τ_1 متغيّرات عشوائية.

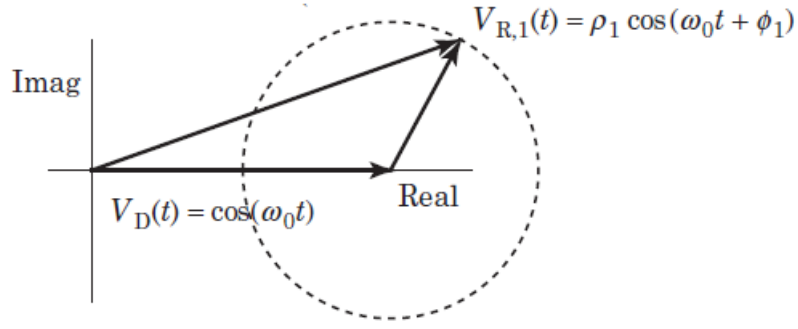
فتكون الإشارة الكلية عند هوائي الاستقبال:

$$\begin{aligned} V_{Rx}(t) &= V_D(t) + V_{R.1}(t) \\ &= \cos(\omega_0 t) + \rho_1 \cos(\omega_0 t + \phi_1) \end{aligned} \quad (12)$$

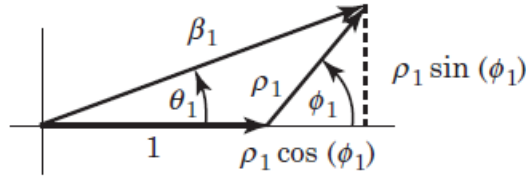
وتحدث حالة الخفوت هنا عندما تقع طاقة الإشارة المستقبلة تحت عتبة معينة، حيث لكل نظام عتبة يجب عدم تجاوزها عند أي من الترددات المتاحة في النظام حتى يتمكن هوائي الاستقبال من كشف هذه النسخة المتخامدة من الإشارة المرسل، كما يختلف مستوى طاقة العتبة هذه في الأنظمة الخلوية فيما إذا كان المرسل هو المحطة القاعدية أم الجهاز المحمول الذي يبتّ بطاقة منخفضة. وتحليل العلاقة الأخيرة نجد أنّ:

$$V_{Rx}(t) = 0 \text{ عندما } \begin{cases} \rho_1 = 1 \\ \text{و} \\ \phi_1 = 180^\circ \end{cases} \quad (13)$$

حيث يجب تحقّق الشرطين معاً من أجل حدوث الخفوت، أي يجب أن يكون فرق أطوال الطّريق بين الأشعة المباشرة والمنعكسة عدداً فردياً من 180° ، وعندها يحصل التّخميد الأسوأ للإشارة المستقبلة وتلغى بشكل كامل [12]. ويمكن تمثيل العلاقة (12) بالمخطط الشعاعي الموضّح في الشكل (2).



(a)



(b)

الشكل(2): المخطط الشعاعي للتداخل بين المسار المباشر ومسار منعكس واحد فقط.

ومنه نجد أن:

$$\begin{aligned} \beta_1^2 &= [1 + \rho_1 \cos(\phi_1)]^2 + [\rho_1 \sin(\phi_1)]^2 \\ &= 1 + 2\rho_1 \cos(\phi_1) + \rho_1^2 \cos^2(\phi_1) + \rho_1^2 \sin^2(\phi_1) \\ &= 1 + 2\rho_1 \cos(\phi_1) + \rho_1^2 \\ \tan(\theta_1) &= \frac{\rho_1 \sin(\phi_1)}{1 + \rho_1 \cos(\phi_1)} \end{aligned} \quad (14)$$

ويمكن إعادة كتابة العلاقة (12) كما يلي:

$$\begin{aligned} V_{Rx}(t) &= \cos(\omega_0 t) + \rho_1 \cos(\omega_0 t + \phi_1) \\ &= \beta_1 \cos(\omega_0 t + \theta_1) \end{aligned} \quad (15)$$

حيث β_1^2 : نسبة الطاقة في $V_{Rx}(t)$ إلى الطاقة في موجة التجب الأصلية.

θ_1 : تغير الطور بين موجة التجب الأصلية و $V_{Rx}(t)$.

3-3-2- تحليل التداخل لثلاثة أشعة:

بالطريقة السابقة نفسها يكون الشعاع المباشر:

$$V_D(t) = \cos(\omega_0 t) \quad (16)$$

والشعاعان المنعكسان هما:

$$V_{R.1} = \rho_1 \cos[\omega_0(t - \tau_1)]$$

و

$$V_{R.2} = \rho_2 \cos[\omega_0(t - \tau_2)] \quad (17)$$

وتكون الإشارة الكلية:

$$\begin{aligned} V_{Rx}(t) &= \cos(\omega_0 t) + \rho_1 \cos[\omega_0(t - \tau_1)] + \rho_2 \cos[\omega_0(t - \tau_2)] \\ &= \cos(\omega_0 t) + \rho_1 \cos[\omega_0 t + \phi_1] + \rho_2 \cos[\omega_0 t + \phi_2] \end{aligned} \quad (18)$$

حيث:

$$\phi_1 = -\omega_0 \tau_1$$

و

$$\phi_2 = -\omega_0 \tau_2$$

3-3-3- التحليل لـ n شعاع:

يمكن تعميم نموذج تعدد المسارات لثلاثة أشعة إلى نموذج n شعاع، حيث نفرض أن n شعاع منفصل يصل إلى هوائي الاستقبال، وكل واحد له ρ و τ مختلف. وبالتالي يحدث إلغاء للإشارة في هذه الحالة عندما يكون مجموع الشعاع المباشر مضافاً إليه الأشعة المنعكسة مساوياً للصفر.

3-4- سيناريو التداخل:

بما أن مفاهيم الأجيال من الأنظمة الخلوية مشتركة ابتداءً من الجيل الثاني وانتهاءً بالجيل الحالي وما سيليها، حيث أن الاختلافات الجوهرية بين هذه النظم لا تمس المبادئ الأساسية، وإنما الطرق المتبعة لاستثمار هذه المبادئ وإنجازها على أرض الواقع، ذلك أن مبدأ وأغراض تعدد النفاذ مشتركة بين النظم المختلفة، أما 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، وأن المبادئ التي تستند إليها بُنيته مشتركة في جوهرها وبين النظم الأخرى، بالإضافة إلى أنه يشمل كل ظواهر التداخل الممكن حدوثها في الوقت الذي ينفرد فيه كل جيل لاحق بالتخفيف من بعضها [14]، وهذا ما يفسر اعتماد بعض الدراسات الحديثة على ترددات هذا الجيل نظراً لسهولة الدراسة ووضوح النتائج ومن ثم يتم إسقاطها بما يتناسب مع متطلبات كل جيل لاحق، وبالتالي نحتاج في دراستنا هذه إلى صياغة سيناريو تداخل بما يتناسب مع هدف البحث في الوصول إلى النتائج المطلوبة، لذلك نفرض أن الإشارات الراديوية تُبث من خلال مستخدم الوحدة المتحركة (MS: Mobile Station) وتُشع في العديد من الاتجاهات، كما نفرض أن هذا المستخدم في حال اتصال مع المحطة القاعدية (مسار صاعد) على التردد $f_0 = 900\text{MHz}$.

وإذا فرضنا أن التداخل يحدث لمسارين أحدهما مباشر يعطى بالعلاقة التالية:

$$V_D(t) = \cos(2\pi 900 * 10^6 t) \quad (19)$$

حيث يصل بمطال $1 V$ وطور 0° .

أما المسار الثاني (المنعكس) فيعطى بالعلاقة التالية:

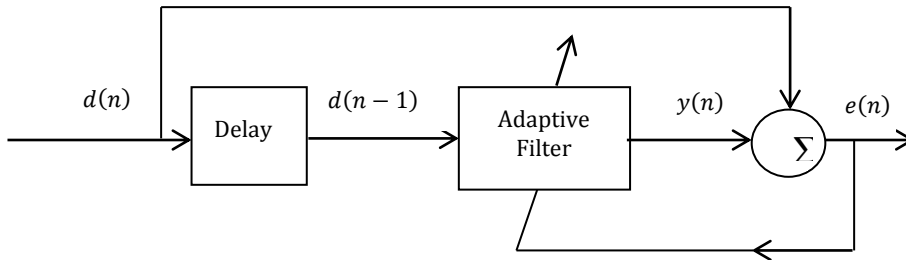
$$V_{R,1} = 0.7 \cos[2\pi 900 * 10^6 t + 70^\circ] \quad (20)$$

حيث $\rho_1 = 0.7V$ و $\phi_1 = 70^\circ$ (فرض أن الإشارة تعرضت لانعكاسات خمدت من مطالها بمقدار $0.3 V$ ، ووصلت بعد فاصل زمني ليس بكبير، حيث أن فرق الطور (70°) يقع في الثلث الأول من المجال $0^\circ \leftarrow 360^\circ$).

ثم نعيد الدراسة نفسها من أجل قيم مختلفة لفرق الطور والمطال ونقارن النتائج.

3-5- إلغاء التداخل متعدد المسارات باستخدام المرشح المتكيف:

عندما تُرسل الإشارة الأصلية عبر الوسط الراديوي، وتُستقبل من قبل هوائي المحطة القاعدية، فلا تُستقبل كإشارة مسار مباشر فقط، بل تُستقبل مع النسخ غير المباشرة، ويُستخدم في هذه الحالة هوائي واحد (بمتابئة حساس) يستقبل الإشارة الأصلية (المسار المباشر) مع الإشارة المنعكسة (التداخل) فنحصل على الإشارة المرغوبة $d(n)$ ، ثم تدخل هذه الإشارة في الوقت نفسه على دارة تأخير لأخذ نسخة مؤخرّة منها $x(n)$ مشتقة من إشارة الاستجابة المرغوبة $(x(n) = d(n-1))$ التي تستخدم كإشارة مرجعية. وبهذه الطريقة تكون الإشارة المرجعية متاحة دائماً في جميع الحالات، وهذا مفيد للتطبيقات التي يكون من الصعب أو المستحيل الحصول فيها على الإشارة المرجعية (كحالتنا هذه)، وبإدخال فرق الطور البسيط هذا بين المكونات الجيبية في المدخلين يكون هناك ارتباط بين مكونات التداخل الموجودة في المدخل الأولي، والمكونات الموجودة في المدخل المرجعي، وبالتالي من خلال تعديل فرق الطور بين هذه المكونات الجيبية في المدخلين فسوف يُلغى أحدهما الآخر عند الجمع ونحصل في خرج المرشح على الإشارة $y(n)$ ، والتي تكون بمثابة تقدير لإشارة التداخل المتراكبة على الإشارة الأصلية، ومن ثم يتم طرحها من الإشارة المشوشة $(d(n))$ لتعطي الإشارة النظيفة $e(n)$ التي تُغذي الخوارزمية عبر حلقة التغذية العكسية وتحديث أوزان المرشح، وتستمر الخوارزمية بالتكرار حتى تصبح إشارة الخطأ أقرب ما يمكن للإشارة الأصلية (الفرق بينهما أصغر ما يمكن) [10,13].



الشكل (3): مبدأ عمل المرشح المتكيف المستخدم لإلغاء التداخل متعدد المسارات.

4-الاستنتاجات والتوصيات:

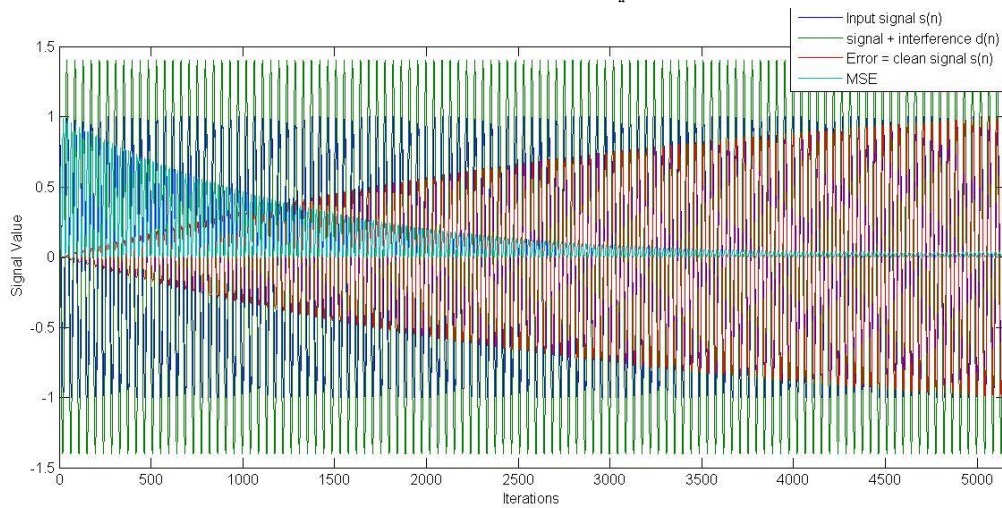
نطبق على المدخل الرئيسي للمرشح المتكيف ذي الطول ($L=10$) الإشارة المرغوبة المكوّنة من مجموع إشارتي المسار المباشر والمسار المنعكس، والتي تعطى بالعلاقة:

$$d(n) = V_D(t) + V_{R.1}$$

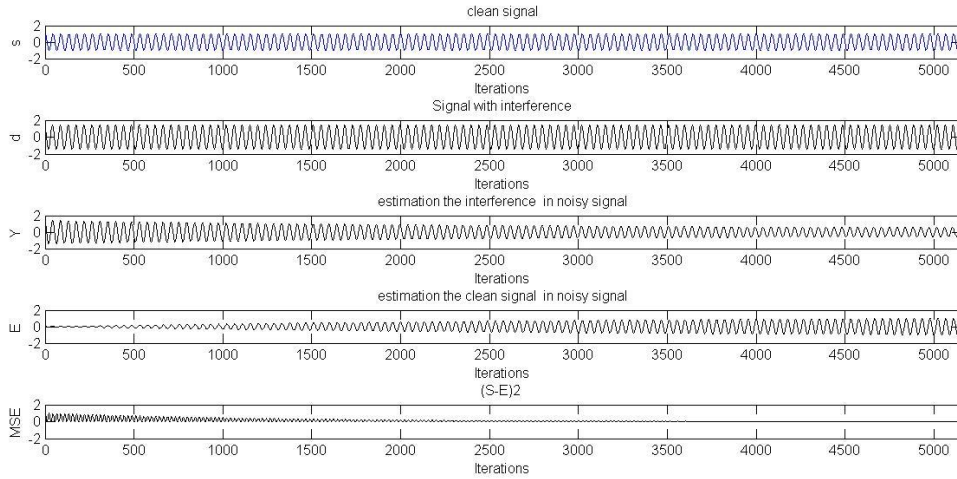
$$d(n) = \cos(2\pi 900 * 10^6 t) + 0.7 \cos[2\pi 900 * 10^6 t + 70^\circ]$$

بينما نطبق على المدخل الثانوي النسخة المؤخّرة منها والمستخدم كإشارة مرجعية $x(n)$ ، كما نقوم بتطبيق خوارزمية LMS ذات حجم الخطوة ($\mu = 0.0001$) مع الأخذ بالحسبان أنّ شعاع الوزن الابتدائي مساوٍ للصفر $(W(0) = 0)$.

وكما يظهر لدينا في الشكل (4) فإنّه بعد تطبيق الخوارزمية لا يتبع خرج المرشح المتكيف الإشارة الأصلية في البداية، ولكن سيتكيف بمرور الوقت مع تغيّرات الإشارة المرغوبة، ويعطي بعد حوالي (5155 تكرار) إشارة خطأ وهي بمثابة نسخة مطابقة للإشارة الأصلية بنسبة كبيرة، حيث إنّ منحنى خطأ الحالة الثابتة (MSE: Mean Square Error) والذي يعبر عن مربع الفرق بين الإشارة الحقيقية وإشارة الخطأ يتقارب إلى قيمة قريبة جداً من الصفر، كما يظهر الشكل أنّه كان بالإمكان الاكتفاء بعدد تكرارات أقل من ذلك بكثير للحصول على منحنى خطأ الحالة الثابتة بشكل متقارب من الصفر ولكن يتعلّق عدد التكرارات بمقدار التداخل الذي تعرضت له الإشارة بالإضافة إلى مقدار المطابقة المطلوبة بين إشارة الخطأ والإشارة الأصلية، ومن هنا تأتي أهمية المفاضلة المثلى بين هذه المتطلبات، وهذا ما يفسّر عدم قدرة الخوارزمية على العمل في ظروف التداخل السيئة بما يتناسب مع أنظمة الزمن الحقيقي لأنّها تعاني من صعوبة تحقيق التوازن المثالي بين معدّل التقارب والاستقرار، حيث عندما يكون حجم الخطوة صغيراً نحصل على إشارة بدقّة عالية ولكن على حساب بقاء معدل التقارب، وبالمقابل اختيار حجم خطوة كبير يؤدي إلى قدرات تتعب عالية ولكن الحساب التقديري لإشارة الخطأ لا يكون جيّداً حيث تصبح الخوارزمية غير مستقرة ويمكن أن تقفز متجاوزة القيم الصحيحة ولا يمكن إيجاد المركبات المثالية في هذه الحالة.

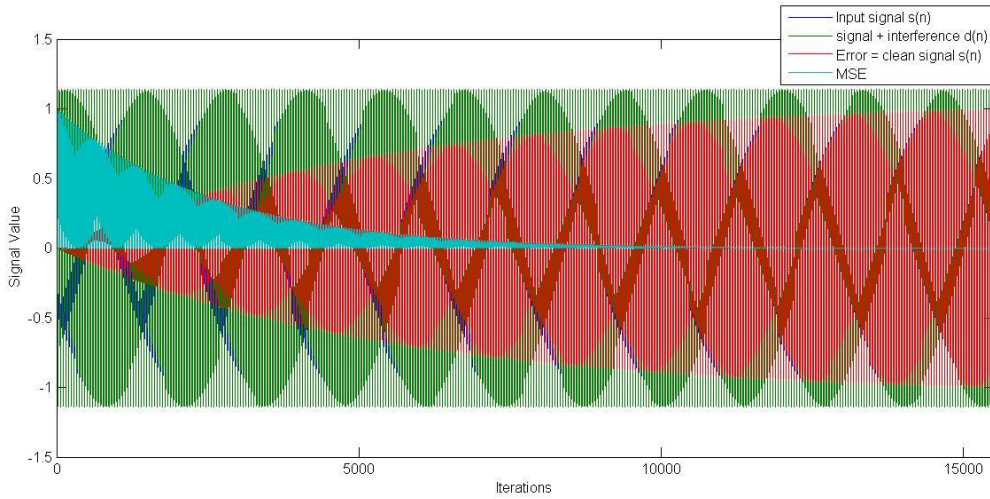


(a)

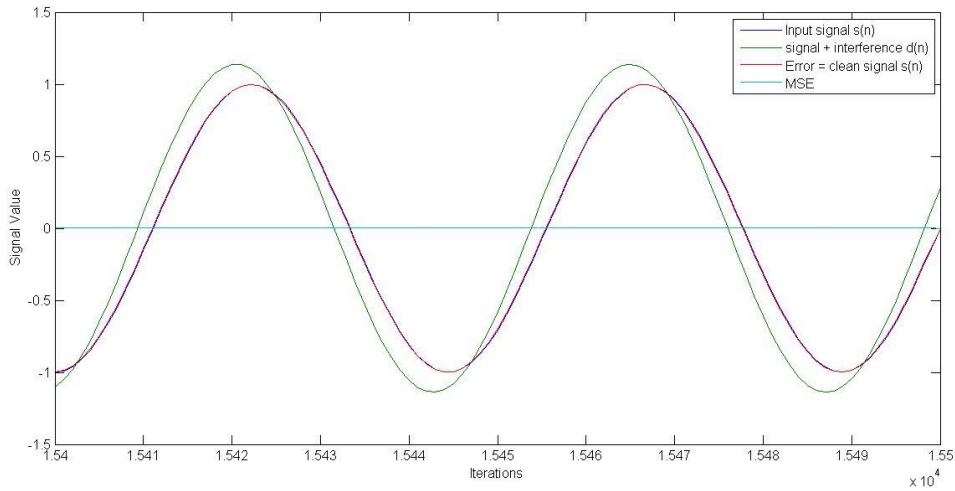


(b)

الشكل (4): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لإزالة التداخل متعدد المسارات عندما ($\rho_1=0.7V$ & $\phi_1=70^0$).
 وإذا أعدنا الدراسة نفسها باعتبار أن فرق الطور نفسه بينما تناقص المطال ليصبح $0.2V$ (الشكل (5)) فنجد أن الخوارزمية تحتاج إلى 15550 تكرار لإزالة التداخل والحصول على الإشارة الأصلية، ونفسر ذلك بأن وصول الإشارة بمطال $0.2V$ ولكن بنفس الطور (70^0) (نفس التأخير الزمني السابق) تعني أن الإشارة تخامدت نتيجة تعرضها لانعكاسات قوية خلال نفس التأخير السابق، وبما أن عملية الترشيح المتكيف تقوم بتقدير إشارة التداخل، ومن ثم طرحها من الإشارة المشوشة للحصول على الإشارة النظيفة، لذلك تستغرق الخوارزمية عدد تكرارات أكثر بكثير من أجل كشف هذه النسخة المتخامدة من الإشارة.



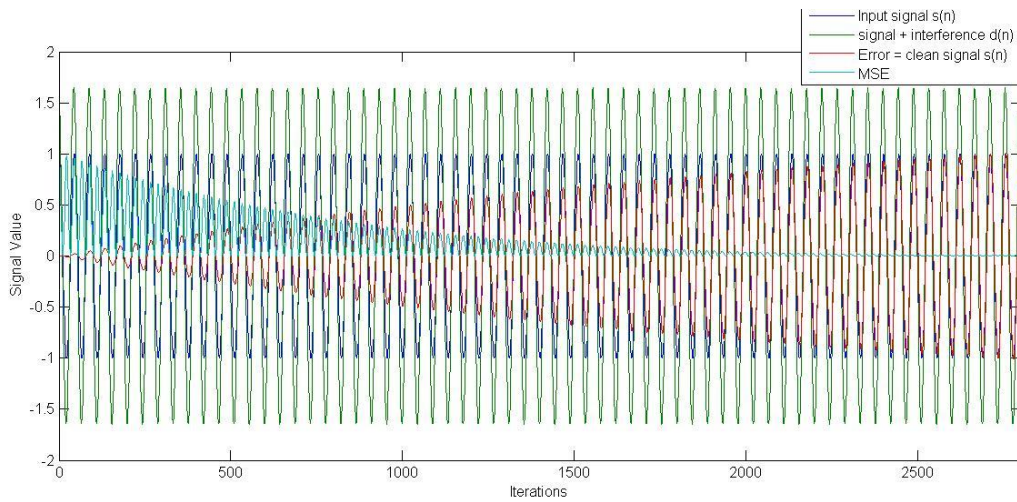
الشكل (5-a): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لإزالة التداخل متعدد المسارات عندما ($\rho_1=0.2 V$ & $\phi_1=70^0$).



الشكل (5-ب): تقريب للنتائج التي تظهر في الشكل (5-أ).

وكذلك بتكرار الدراسة السابقة مع إبقاء المطال نفسه (0.7V) ولكن فرق الطور أصغر، وليكن (30^0) (أي التأخير الزمني أصبح أقل)، فنجد أن الخوارزمية تحتاج إلى عدد أقل من عمليات التكرار (2700 تكرار) للوصول إلى النسخة المطابقة للإشارة الأصلية (الشكل (6)).

ونفسر ذلك بأن الإشارة تعرضت لانعكاسات لم تنقص كثيراً من مطالها (أي لم يطرأ تغييرات كبيرة على قوة الإشارة المرسل) ووصلت بعد تأخير زمني صغير، لذلك لا تحتاج الخوارزمية إلى عدد كبير من التكرارات من أجل استخلاصها.



الشكل (6): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لإزالة التداخل متعدد المسارات عندما ($\rho_1 = 0.7 \text{ V} \ \& \ \phi_1 = 30^0$).

تظهر الدراسة السابقة تفوق المرشح المتكيف على الطرق التقليدية المستخدمة سابقاً لإلغاء التداخل متعدد المسارات، حيث يتميز ببساطته وانخفاض تعقيده وقلّة تكلفته، كما يتميز بقدرته على اكتشاف الإشارة المنعكسة وحذفها، تبعاً لمطال وطور وصولها إلى هوائي الاستقبال، حيث إن طول الموجة عند التردد 900 MHz مساو لـ 33cm، لذلك فإن الاختلاف في أطوال الطريق يتغير بمقدار نصف طول الموجة (أي 16.5cm)، وبالتالي فإن شدة الإشارة المستقبلية سوف تتغير بين -30dB إلى +6dB مقارنة مع شدة الإشارة المباشرة.

ولكن سلبية هي عدم قدرته على معالجة حالات الخفوت أو الحالات القريبة منها، حيث إنّه كلما كانت الحالة أقرب إلى الخفوت تحتاج الخوارزمية إلى عدد تكرارات أكثر وزمن أطول، وهذا يزيد من التعقيد الحسابي، لذلك يعدّ استخدام خوارزمية LMS الخيار الأنسب في مثل هذه الحالات كونها تتميز ببساطتها ومرونتها وسهولة تنفيذها بالإضافة إلى كفاءتها الحسابية.

ويمكن إعادة الدراسة السابقة باستخدام أنواع أخرى من الخوارزميات، سواء أكانت من عائلة LMS نفسها أم من عائلات أخرى، مثل خوارزمية RLS وغيرها، ومقارنة النتائج بعضها مع بعض من ناحية معايير الأداء لهذه الخوارزميات، كما يمكن إجراء الدراسة السابقة بالطريقة نفسها تماماً مع افتراض وجود اثنين أو أكثر من الأشعة المنعكسة (عدّة مسارات للتداخل) ومقارنة النتائج بعضها مع بعض.

المراجع:

- 1] OKORAFOR,C.I., OMEJE,A., CHUKWUNEKE,N.S., OKOROGU,V.N. 2017, *Multipath Interference Reduction In Wireless Radio Systems Using Two-Branch Selection Diversity*. International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering (IJASRE), Vol. 3, N^o.8, 21-29.
- 2] MCCLANING,K. 2012, *Wireless Receiver Design for Digital Communications*. Second Edition, SCITTECH Publishing, United States of America, 758.
- 3] REKHA,N., JABEEN,F.2018, *Novel Technique for Comprehensive Noise Identification and Cancellation in GSM Signal*. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE),Vol. 8, N^o.2, 1222-1229.
- 4] REKHA,N., JABEEN,F. *Study on Approaches of Noise Cancellation in GSM Communication Channel*. 2015, Communications on Applied Electronics (CAE), Vol.3, N^o. 5, 5-11 .
- 5] AFROZ,F., HUQ,A., AHMED,F., SANDRASEGARAN,K. 2015, *Performance Analysis Of Adaptive Noise Canceller Employing NLMS Algorithm*. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN), Vol. 7, N^o.2, 46-58.
- 6] DAS,S., SARMA,K.K. 2012, *Noise Cancellation in Stochastic Wireless Channels using Coding and Adaptive Filtering*. International Journal of Computer Applications,Vol. 46, N^o.14, 21-25.
- 7] DIXIT,SH., NAGARIA,D. 2017, *LMS Adaptive Filters for Noise Cancellation: A Review*. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol.7, N^o.5, 2520-2529.
- 8] YEDUKONDALU,K.,SARMA,A.D.,SRINIVAS,V.S. 2011, *Estimation And Mitigation OF GPS MULTIPATH INTERFERENCE USING ADAPTIVE FILTERING*. Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 21, 133-148.
- 9] PETER,N.A., KUFRE,U., SIMEON,O. 2018, *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, 360-372.
- DAI,J., HAN,Z., ZHANG,F. 2012, *Research on the Interference Cancellation Based on Adaptive Algorithms*. International Journal of Intelligent Engineering &

- 10] Systems, Vol. 5, N^o.4, 18-25.
LEE,J.H., OOIL,E., KO,Y.H. , TEOH,C.Y. 2017, *Simulation for noise cancellation using LMS adaptive filter*. International Conference on Aerospace, IOP Science, Vol.211, 1-6.
- 11] LAVANYA,V., SASIBHUSHANA,G.R., BIDIKAR,B. 2016, *Fast Fading Mobile Channel Modeling For wireless Communication*. International Conference on Computational Modeling and Security (CMS 2016),Vol. 85, 777-781.
- 12] FRECH,A., RUSSER,P. 2012 , *Real-time Ambient Noise Cancellation for EMI Measurements on Open Area Test Sites*. IEEE, 213-216.
- 13]

[14] عرودكي ، هشام . 2013، نظم الاتصالات الخلوية "أنس ومبادئ". دمشق: دن، 487.