



الجمهورية العربية السورية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة البعث  
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية  
قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات

## تحسين أداء نظام اتصال وتخفيض الضجيج المرافق لنقل الإشارة باستخدام المرشحات المتكيفة

دراسة أعدت لنيل درجة الدكتوراه في قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات

تقديم

المهندسة فرح توفيق جنيكه

المشرف المشارك  
الأستاذ الدكتور هيثم الرضوان

المشرف العلمي  
الأستاذ الدكتور ياسر عملة

٢٠٢٠ - ٢٠٢١ م

١٤٤٢ - ١٤٤٣ هـ



الأستاذ الدكتور عميد كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

استناداً إلى قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا بجامعة البعث رقم (٥١٤) د/ المتخذ بالجلسة رقم (١٥) د/ للعام الدراسي ٢٠٢٠/٢٠٢١ المنعقدة بتاريخ ١٤/٤/٢٠٢١ م والمتضمن تشكيل لجنة الحكم والمناقشة على رسالة الدكتوراه للطالبة المهندسة فرح توفيق جنيكه في قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة البعث بعنوان:

/ تحسين أداء نظام اتصال وتخفيض الضجيج المرافق لنقل الإشارة باستخدام المرشحات المتكيفة /  
وبعد المناقشة العلنية أمام لجنة الحكم التي تمت بتاريخ ١٠/٦/٢٠٢١ وبعد الاطلاع على الأطروحة المعدلة تبين أن المهندسة فرح توفيق جنيكه قد أجرت جميع التعديلات التي تمت الإشارة إليها من قبل السادة أعضاء اللجنة.  
يرجى الاطلاع.

أعضاء لجنة الحكم

الأستاذ الدكتور رضوان دندنة  
الأستاذ الدكتور علي أحمد  
الأستاذ الدكتور عبد الله غندور  
الأستاذ الدكتور ياسر عملة  
الدكتور نبيل دحدوح

رئيس قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات

الأستاذ الدكتور عبد الله غندور

عبدالله

## الملخص:

بما أنّ خصائص إشارة الضجيج / التداخل (مثل المطال والتردد والطور) متغيرة مع الوقت وأحياناً غير معروفة فإن معظم الأنظمة اللاسلكية وبخاصة الأنظمة الخلوية تعاني من صعوبة استخلاص الإشارة المفيدة وترددها من الإشارة المشوشة، لذا يتم استخدام المرشحات المتكيفة لهذا الغرض، والتي تمتاز بشعبيتها بسبب تقدّمها في التكنولوجيا الرقمية، وانخفاض تكلفة المكونات المادية لها، بالإضافة إلى التنفيذ الحسابي المنخفض نسبياً لها، فضلاً عن قدرتها على العمل في بيئة غير معروفة، وامتيازها بإمكانات جيّدة جداً للملاحظة.

تم تطبيق تقنية الترشيح المتكيف باستخدام خوارزمية المتوسط التربيعي الأدنى (LMS: Least Mean Square) لتخفيض الضجيج الغوسي الأبيض المضاف الذي يحاكي الضجيج العشوائي المتغير بشكل لحظي، والمؤثر في الإشارة اللاسلكية في أثناء انتقالها في الوسط الراديوي، كما أثبت المرشح المتكيف كفاءته باستخدام خوارزمية العمل الأخرى المستخدمة في معالجة الضجيج النبضي الذي يعدّ أكثر أنواع الضجيج تشويهاً لإشارة المعلومات الأصلية المرسلّة؛ إذ أثبتت هذه الخوارزمية تفوقها على الطرق التقليدية التي كانت متبعة مسبقاً.

أظهر هذا المرشح عند عمله على مبدأ التنبؤ الخطي، وباستخدام خوارزمية LMS قدرته على تخفيض أنواع التداخل المؤثرة بشكل أساسي في الأنظمة الخلوية، وهي تداخل القناة المشتركة والقناة المجاورة، بالإضافة إلى تخفيض التداخل متعدد المسارات الذي يسبب تشويه الإشارة الأصلية نتيجة تداخلها مع الإشارات غير المباشرة أو المنعكسة، وهذا يساهم في تحسين نسبة الإشارة إلى التداخل بشكل كبير.

تم في هذا البحث تطوير خوارزميات المرشحات المتكيفة بحيث تسمح للمرشح المتكيف بأن يعمل كمرشح شقوق من خلال ملاحظة التردد غير المعروف لإشارة التداخل من القنوات المجاورة في البيئة التي لا تتوافر فيها المعرفة الكاملة بخصائص الإشارة.

وقد تم العمل في هذه الأطروحة على تحسين أداء خوارزمية العمل LMS بشكل كبير مع المحافظة على انخفاض تعقيدها الحسابي مقارنة مع أداء الخوارزميات الأخرى المعقّدة حسابياً، والتي تعطي نفس النتائج تقريباً وذلك باستخدام بنى الدمج التسلسلية والتفرعية.



## **Abstract:**

It is well-known that the characteristics of noise/interference signal such as amplitude, frequency and phase, change over time and sometimes become unspecified. Therefore, most wireless systems – especially cellular systems – have difficulty extracting the useful signals and their frequency from the distorted ones. The adaptive filters have been widely used for this purpose due to their advanced digital technology, low cost of their physical components, and their relatively low computational implementation, as well as their very good tracking capabilities and their ability to operate in an unknown environment.

Least-Mean-Square algorithm based adaptive filtering technique has been applied to reduce the additive white Gaussian noise (AWGN), which simulates the random noise that changes instantaneously and affects the wireless signal while travelling through the radio medium. The adaptive filter also proved its efficiency using the other used working algorithm to process the impulsive noise, that is considered one of the most common noise types which distort the transmitted original information-bearing signal, as this algorithm demonstrated its superiority over the previously-adopted conventional approaches.

When operated basing on Linear Prediction and LMS Algorithm, this filter has shown greater ability to reduce all types of interference affecting cellular systems, namely co-channel and adjacent channel interference, in addition to eliminating the multi-path interference that causes distortion of original signal due to its interference with indirect or reflected signals. This would contribute to further improve the signal-to-interference ratio.

This research has helped develop adaptive filter algorithms that allow the adaptive filter to function as a notch filter by tracking the unknown frequency of the interference signal from adjacent channels. This methodology pays off in environments where there is no full knowledge of the signal characteristics.

In this dissertation, a lot of work had been done to effectively improve the performance of the LMS algorithm, meanwhile, maintaining its low computational complexity compared to the performance of other computationally complex algorithms that yield approximately the same results using hierarchical and parallel merging structures.



## فهرس المحتويات

i	الملخص:
vi	قائمة الأشكال:
viii	قائمة الجداول:
ix	جدول المصطلحات العلمية والاختصارات
xii	الفصل الأول: المقدمة ومشكلة البحث
1	1.1. مقدمة:
3	2.1. الدراسة المرجعية:
8	3.1. منهجية البحث:
8	4.1. فرضية البحث:
8	5.1. هدف البحث:
9	6.1. الضجيج:
9	1.6.1. تعريف الضجيج:
9	2.6.1. تصنيف الضجيج:
9	1.2.6.1. تصنيف الضجيج وفق مصدره:
10	2.2.6.1. تصنيف الضجيج وفق طيفه الترددي:
11	3.6.1. تخفيض الضجيج:
11	1.3.6.1. طريقة التحكم السلبي بالضجيج:
11	2.3.6.1. طريقة التحكم الفعال بالضجيج:
12	7.1. تنظيم فصول الأطروحة:
14	الفصل الثاني: الأساسيات النظرية في المرشحات المتكيفة
15	1.2. تمهيد:
15	2.2. نظرة على المرشحات:
16	3.2. ما هو المرشح المتكيف؟
17	4.2. مقارنة المرشحات المتكيفة والثابتة:
18	5.2. مبدأ الترشيح المتكيف:
19	6.2. بنية المرشح المتكيف:
19	1.6.2. المرشح المتكيف ذو الاستجابة النبضية محدودة المدة (FIR: Finite-duration Impulse Response):
19	1.1.6.2. مرشح FIR ذو البنية المستعرضة:
20	2.1.6.2. مرشح FIR ذو البنية المستعرضة المتناظرة:
21	3.1.6.2. مرشح FIR ذو البنية الشبكية:
23	2.6.2. المرشح المتكيف ذو الاستجابة النبضية غير محدودة المدة (IIR: Infinite-duration Impulse Response):
24	7.2. المرشحات الرقمية:
25	1.7.2. مرشح وينر:

25.....	2.7.2. مرشّح كالمان: .....
26.....	8.2. تطبيقات المرشّحات المتكيفة: .....
26.....	1.8.2. تحديد هوية النظام (النموذج الرياضي): .....
27.....	2.8.2. تحديد هوية القناة: .....
28.....	3.8.2. تحديد هوية المصنع: .....
28.....	4.8.2. إلغاء الصدى من أجل النقل لمسافات طويلة: .....
29.....	5.8.2. إلغاء الصدى الصوتي: .....
29.....	6.8.2. الإلغاء المتكيف للضجيج: .....
30.....	7.8.2. النموذج العكسي: .....
31.....	8.8.2. تعديل القناة: .....
31.....	9.8.2. نموذج المصنع العكسي: .....
31.....	10.8.2. التنبؤ الخطي: .....
32.....	1.10.8.2. الترميز التنبؤي الخطي: .....
33.....	2.10.8.2. تحسين الخط المتكيف: .....
33.....	11.8.2. التحكم بالتغذية الأمامية: .....
34.....	12.8.2. معالجة المصفوفة: .....
34.....	9.2. خوارزميات عمل المرشّحات المتكيفة: .....
36.....	10.2. تابع الكلفة لخطأ الحالة الثابتة: .....
36.....	11.2. حل وينر: .....
38.....	12.2. طريقة الهبوط شديد الانحدار: .....
39.....	13.2. خوارزمية المتوسط التربيعي الأدنى (LMS: least Mean Square) : .....
43.....	1.13.2. تحليل خوارزمية LMS: .....
44.....	14.2. خوارزميات أخرى عشوائية الانحدار: .....
44.....	1.14.2. خوارزمية LMS ذات القيمة المؤشّرة للخطأ (SELMS: Sign-Error LMS): .....
44.....	2.14.2. خوارزمية LMS الطبيعية (NLMS: Normalized least Mean Square) : .....
45.....	3.14.2. خوارزمية LMS المتسرّبة (LLMS: Leaky LMS) : .....
46.....	4.14.2. خوارزمية LMS ذات حجم الخطوة المتغير (VSSLMS : Variable Step Size LMS) : .....
47.....	5.14.2. خوارزمية LMS السريعة ذات الكتلة (FLMS: Fast LMS) : .....
47.....	15.2. خوارزمية المربعات الصغرى التكرارية (RLS: Recursive Least Squares) : .....
49.....	16.2. معايير الأداء المطلوبة من الخوارزميات في الأنظمة المتكيفة: .....
52.....	17.2. استخدام المرشّح المتكيف لتخفيض الضجيج/التداخل: .....
52.....	18.2. نظرة على التطورات الأولية والحديثة: .....
53.....	19.2. مبررات استخدام المرشّحات المتكيفة: .....
54.....	20.2. المفهوم الأساسي للترشيح المتكيف: .....
54.....	21.2. مبدأ عمل أنظمة الإلغاء المتكيف للضجيج/التداخل: .....

56	22.2. التحليل الرياضي لعلاقات لاغي الضجيج/التداخل:
57	23.2. العوامل المؤثرة في أداء لاغي الضجيج/التداخل:
59	24.2. الخاتمة:
60	الفصل الثالث: معالجة الإشارة اللاسلكية في الأنظمة الخلوية باستخدام المرشح المتكيف
61	1.3. تمهيد:
61	2.3. مقدمة:
61	3.3. مبررات اختيار النظام الخلوي كنظام اتصال لتحسين أدائه:
63	4.3. مبدأ عمل الشبكات الخلوية:
63	5.3. مكونات الشبكة الخلوية:
64	6.3. التشويش في الأنظمة الخلوية:
65	7.3. أنواع التداخل في الأنظمة الخلوية:
66	1.7.3. تداخل القناة المشتركة (CCI: Co- Channel Interference):
67	2.7.3. تداخل القناة المجاورة (ACI: Adjacent Channel Interference):
68	8.3. سيناريو التداخل:
70	9.3. تخفيض التداخل باستخدام المرشح المتكيف:
72	10.3. تخفيض الضجيج الغوسي الأبيض المضاف AWGN باستخدام المرشح المتكيف:
73	11.3. النتائج والمناقشة:
73	1.11.3. حالة التداخل:
74	2.11.3. حالة الضجيج الغوسي الأبيض المضاف:
76	12.3. الاستنتاجات:
77	13.3. التطبيق العملي:
82	14.3. استخدام المرشح المتكيف كمرشح شقوق لتخفيض تداخل القناة المجاورة:
84	15.3. مبدأ عمل مرشح الشقوق المتكيف:
85	16.3. مزايا مرشح الشقوق المتكيف:
86	17.3. توظيف مرشح الشقوق المتكيف المدروس لتخفيض تداخل القناة المجاورة في الأنظمة الخلوية:
87	18.3. النتائج والمناقشة في حالة استخدام مرشح الشقوق المتكيف لتخفيض تداخل القناة المجاورة:
90	19.3. الخاتمة:
92	الفصل الرابع: تخفيض التداخل متعدد المسارات في الأنظمة الخلوية
93	1.4. مقدمة:
94	2.4. التداخل متعدد المسارات:
95	1.2.4. تحليل التداخل متعدد المسارات لشعاعين:
97	2.2.4. تحليل التداخل لثلاثة أشعة:
97	3.2.4. التحليل لـ n شعاع:
98	3.4. سيناريو التداخل:
98	4.4. تخفيض التداخل متعدد المسارات باستخدام المرشح المتكيف:



99	5.4. التّطبيق العملي:
103	6.4. الخاتمة:
104	الفصل الخامس: تخفيض الضّجيج النّبضي المرافق لنقل الإشارة في الأنظمة الخلوية
105	1.5. مقدّمة:
105	2.5. مبدأ عمل المرشّح المتكيف المستخدم لتخفيض الضّجيج النّبضي:
106	3.5. الخوارزمية المستخدمة لتخفيض الضّجيج النّبضي:
107	4.5. طريقة توليد الضّجيج النّبضي:
108	5.5. النّتائج العمليّة ومناقشتها:
111	6.5. الاستنتاجات:
111	7.5. الخاتمة:
113	الفصل السادس: تحسين أداء خوارزمية LMS المستخدمة في المرشّحات المتكيفة
114	1.6. مقدّمة:
114	2.6. خوارزميات الدّمج:
115	1.2.6. تصميم المرشّح المتكيف المتوازي:
117	1.1.2.6. خطأ الحالة الثّابتة لمرشّح الدّمج:
118	2.1.2.6. أداء الملاحقة لمرشّح الدّمج:
118	2.2.6. تصميم المرشّح المتكيف التسلسلي:
120	3.6. النّتائج ومناقشتها:
120	1.3.6. من أجل مرشّحات LMS الموصولة على التّوازي:
123	2.3.6. من أجل مرشّحات LMS الموصولة على التسلسل:
125	4.6. الاستنتاجات:
127	5.6. الخاتمة:
128	خاتمة البحث
128	الاستنتاجات:
129	الأعمال المستقبلية:
131	المراجع:

## قائمة الأشكال:

19	الشّكل (2-1): الشّكل العام للتّرشّيح المتكيف
20	الشّكل (2-2): مرشّح FIR ذو البنية المستعرضة
21	الشّكل (2-3): مرشّح FIR ذو البنية المستعرضة المتناظرة
22	الشّكل (2-4): مرشّح FIR ذو البنية الشّبكيّة
23	الشّكل (2-5): بنية مرشّح IIR
25	الشّكل (2-6): توضيح لبنية مرشّح وينر

26	الشكل (2-7): تحديد هوية النظام
30	الشكل (2-8): النموذج العكسي
32	الشكل (2-9): التنبؤ الخطي
34	الشكل (2-10): التحكم بالتغذية الأمامية
36	الشكل (2-11): المخطط العام للمرشح المتكيف مع الخوارزمية
37	الشكل (2-12): التابع التربيعي MSE
40	الشكل (2-13): توضيح لصندوق خوارزمية LMS
41	الشكل (2-14): المخطط التدفقي لتنفيذ خوارزمية LMS
54	الشكل (2-15): إلغاء الضجيج من خلال التداخل الهدام
55	الشكل (2-16): لاغي الضجيج المتكيف
67	الشكل (3-1): إعادة استخدام التردد وتداخل القناة المشتركة
71	الشكل (3-2): تخفيض التداخل بواسطة المرشح المتكيف الذي يعمل على مبدأ التنبؤ
73	الشكل (3-3): تخفيض الضجيج الغوسي الأبيض المضاف AWGN باستخدام المرشح المتكيف
74	الشكل (3-4): تخفيض تداخل القناة المشتركة والقناة المجاورة معاً باستخدام المرشح المتكيف
75	الشكل (3-5-a): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لتخفيض الضجيج الغوسي الأبيض المضاف
75	الشكل (3-5-b): تقريب للنتائج التي تظهر في الشكل (3-5-a)
77	الشكل (3-6): نموذج المحاكاة لتخفيض التداخل والضجيج معاً
78	الشكل (3-7): منحنى الإشارة النظيفة
78	الشكل (3-8): منحنى إشارة تداخل القناة المشتركة
79	الشكل (3-9): منحنى إشارة تداخل القناة المجاورة
79	الشكل (3-10): منحنى الإشارة النظيفة مضافاً إليها إشارتي التداخل
80	الشكل (3-11): منحنى الإشارة المشوشة (الإشارة النظيفة + إشارات التداخل + إشارة الضجيج)
80	الشكل (3-12): منحنى الإشارة المشوشة بعد إزالة الضجيج منها
81	الشكل (3-13): منحنى إشارة الخطأ (الإشارة المرشحة)
81	الشكل (3-14): منحنى خطأ الحالة الثابتة MSE
84	الشكل (3-15): استخدام المرشح المتكيف كمرشح شقوق لتخفيض التداخل بالاعتماد على خوارزمية LMS
86	الشكل (3-16): حزمة المنع لمرشح الشقوق المتكيف
88	الشكل (3-17): استخدام المرشح المتكيف كمرشح شقوق وحيد التردد
88	الشكل (3-18-a): استخدام المرشح المتكيف كمرشح شقوق متعدد التردد
89	الشكل (3-18-b): تقريب للنتائج في الشكل (3-18-a)
89	الشكل (3-19): نموذج محاكاة الماتلاب لتخفيض تداخل القناة المجاورة في النظم الخلوية
94	الشكل (4-1): حالة الانتشار متعدد المسارات

الشكل (4-2): المخطط الشعاعي للتداخل بين المسار المباشر ومسار منعكس واحد فقط.....	96
الشكل (4-3): مبدأ عمل المرشح المتكيف المستخدم لتخفيض التداخل متعدد المسارات.....	99
الشكل (4-4): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لتخفيض التداخل متعدد المسارات عندما ( $\rho_1=0.7V$ & $\phi_1=70^0$ ) ...	101
الشكل (4-5-a): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لتخفيض التداخل متعدد المسارات عندما ( $\rho_1=0.2 V$ & $\phi_1=70^0$ )	101
الشكل (4-5-b): تقريب للنتائج التي تظهر في الشكل (4-5-a) .....	102
الشكل (4-6): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لتخفيض التداخل متعدد المسارات عندما ( $\rho_1=0.7 V$ & $\phi_1=30^0$ )	102
الشكل (5-1): إشارة الضجيج النبضي.....	108
الشكل (5-2-a): نتائج تطبيق الخوارزمية المستخدمة ذات حجم الخطوة $\mu = 0,001$ لتخفيض الضجيج النبضي.....	108
الشكل (5-2-b): تقريب للنتائج التي تظهر في الشكل (5-2-a) .....	109
الشكل (5-3): MSE(dB) للمرشح الذي يعمل وفق الخوارزمية المستخدمة ذات حجم الخطوة $\mu = 0,001$ .....	109
الشكل (5-4): نتائج تطبيق الخوارزمية المستخدمة ذات حجم الخطوة $\mu = 0,01$ لتخفيض الضجيج النبضي.....	110
الشكل (5-5): MSE(dB) للمرشح الذي يعمل وفق الخوارزمية المستخدمة ذات حجم الخطوة $\mu = 0,01$ .....	111
الشكل (6-1): دمج اثنين من المرشحات المتكيفة المستعرضة على التوازي .....	115
الشكل (6-2): بنية إلغاء الضجيج التسلسلية باستخدام LMS .....	118
الشكل (6-3-a): نتائج تطبيق خوارزمية LMS ذات حجم الخطوة $\mu_1 = 0.01$ .....	120
الشكل (6-3-b): MSE(dB) لمرشح LMS ذو حجم الخطوة $\mu_1 = 0.01$ .....	120
الشكل (6-4-a): نتائج تطبيق خوارزمية LMS ذات حجم الخطوة $\mu_2 = 0.001$ .....	121
الشكل (6-4-b): MSE(dB) لمرشح LMS ذو حجم الخطوة $\mu_2 = 0.001$ .....	121
الشكل (6-5 -a): نتائج تطبيق خوارزمية الدمج التفرعية ( $\mu_1$ & $\mu_2$ ) .....	121
الشكل (6-5 -b): MSE(dB) لمرشح الدمج التفرعي ( $\mu_1$ & $\mu_2$ ) .....	122
الشكل (6-6): تقريب للنتائج التي تظهر في الشكل (6-5 -a) .....	122
الشكل (6-7): MSE لمرشحي الدمج التسلسلي ( $\mu = \mu_c = 0.01$ ) .....	124
الشكل (6-8-a): MSE(dB) لمرشحي الدمج التسلسلي ( $\mu = \mu_c = 0.01$ ) .....	124
الشكل (6-8-b): MSE(dB) لمرشحي الدمج التسلسلي ( $\mu = 0.01$ & $\mu_c = 0.001$ ) .....	124
الشكل (6-8-c): MSE(dB) لمرشحي الدمج التسلسلي ( $\mu = 0.001$ & $\mu_c = 0.01$ ) .....	124

## قائمة الجداول:

الجدول (2-1): مقارنة بين المرشحات المتكيفة والثابتة .....	18
الجدول (3-1): تزايد خطأ الحالة الثابتة MSE عند تخفيض الضجيج الغوسي الأبيض المضاف باستخدام خوارزمية LMS .....	76
الجدول (5-1): قيم MSE للمرشح الذي يعمل وفق الخوارزمية المستخدمة لتخفيض الضجيج النبضي.....	110
الجدول (6-1): مقارنة تزايد خطأ الحالة الثابتة EMSE بين مرشح التقارب السريع (0.01) ومرشح الدمج .....	123
الجدول (6-2): مقارنة MSE2 للمرشح التسلسلي (مرحلتين) و MSE1 للمرشح المفرد (مرحلة واحدة).....	125



## جدول المصطلحات العلمية والاختصارات

المختصر	المعنى الكامل باللغة الإنكليزية	المعنى الكامل باللغة العربية
ACI	Adjacent Channel Interference	تداخل القناة المجاورة
ANF	Adaptive Notch Filter	مرشح الشقوق المتكيف
AWGN	Additive White Gaussian Noise	الضجيج الغوسي الأبيض المضاف
ADC	Analog to Digital Converter	محول من تماثلي إلى رقمي
ADPCM	Adaptive Differential Pulse-Code Modulation	تعديل الترميز النبضي التفاضلي المتكيف
ALE	Adaptive Line Enhancement	التحسين المتكيف للخط
ANC	Active Noise Cancellation	الإلغاء الفعال للضجيج
ATWF	Adaptive Tunable Notch Filter	مرشح الشقوق المولف المتكيف
AUC	Authentication Center	مركز التوثيق
BSC	Base Station Controller	متحكم المحطة القاعدية
BS	Base Station	المحطة القاعدية
CCI	Co- Channel Interference	تداخل القناة المشتركة
DSP	Digital Signal Processor	معالج إشارة رقمية
ECG	Electro Cardio Gram	تخطيط القلب الكهربائي
EEG	Electro Encephalo Graphy	تخطيط الدماغ الكهربائي
EM	Electromagnetic Waves	أمواج كهرومغناطيسية
EMSE	Excess Mean Square Error	تزايد خطأ الحالة الثابتة (القيمة المربعة للخطأ)
FIR	Finite-duration Impulse Response	المرشح المتكيف ذو الاستجابة النبضية محدودة المدة
FLMS	Fast Least Mean Square	خوارزمية LMS السريعة ذات الكتلة
GSM	Global Systems for Mobile Communications	النظام العالمي للاتصالات المتنقلة
HLR	Home Location Register	سجل موقع الاشتراك

المرشح المتكيف ذو الاستجابة النبضية غير محدودة المدة	Infinite-duration Impulse Response	IIR
تداخل الرموز	Inter-Symbol Interference	ISI
خوارزمية LMS المتسربة	Leaky Least Mean Square	LLMS
خوارزمية المتوسط التربيعي الأدنى	Least Mean Square	LMS
المسافة الطيفية المسجلة	Log Spectral Distance	LSD
نظام التطور طويل المدى	Long-Term Evolution	LTE
الوحدة المتحركة	Mobile Station	MS
مركز تبديل المحمول	Mobile switching center	MSC
الانحراف التربيعي المتوسط	Mean Square Deviation	MSD
القيمة المربعة للخطأ (الخطأ التربيعي المتوسط)	Mean Square Error	MSE
نظام إلغاء الضجيج	Noise Cancellation System	NCS
خوارزمية LMS الطبيعية	Normalized least Mean Square	NLMS
نسبة تخفيض الضجيج	Noise Reduction Ratio	NRR
المزج (التعديل) بتقسيم التردد المتعامد	Orthogonal Frequency Division Modulation	OFDM
التردد الراديوي	Radio Frequency	RF
خوارزمية المربعات الصغرى التكرارية	Recursive Least Squares	RLS
مستقبل	Receiver	RX
خوارزمية LMS ذات القيمة المؤشرة للخطأ	Sign-Error Least Mean Square	SELMS
نسبة الإشارة إلى الضجيج	Signal To Noise Ratio	SNR
مرسل	Transmitter	TX
النظام العالمي للاتصالات السلكية واللاسلكية المتنقلة	Universal Mobile Telecommunications System	UMTS
سجل موقع الزائر	Visitor Location Register	VLR
دائرة متكاملة فائقة	Very Large Scale Integration	VLSI

خوارزمية LMS ذات حجم الخطوة المتغير	Variable Step Size Least Mean Square	VSSLMS
أنظمة النفاذ المتعدد بتقسيم الرمز عريضة الحزمة	Wide-Band Code Division Multiple Access	WCDMA



## الفصل الأول: المقدمة ومشكلة البحث

## 1.1. مقدمة:

إنّ أحد التّحديات الأساسيّة التي تؤثر في أداء أنظمة الاتّصالات هي التأثير غير المرغوب فيه للضّجيج المرافق لقناة الاتّصال، إذ يعدّ الضّجيج من المشاكل المرافقة لجميع أنظمة الاتّصال ويمكن أن يسبّب تدهور جودة الإشارة الأصليّة ممّا يؤدي إلى تشوّهها، ويكون لهذا التشوّه الأثر الكبير على الإشارة بشكل خاص في أنظمة الرّاديو خلال فترة استشعار الطّيف وخلال الاتّصال مع عقد الشّبكة الأخرى، إذ لا يمكن التّخلص منه بشكل كامل، إنّما الحدّ من أثره قدر الإمكان إذ توجد أشكال معيّنة منه لا مفر منها أبداً لأنّها تنشأ نتيجة التّباين الأصلي في الكميّة المقاسة ولا يمكن التّخفيف منها، في حين أنّ هناك أشكالاً أخرى من الضّجيج يمكن تقليلها إلى أدنى حد ممكن باستخدام أنواع مختلفة من التّقنيّات.

كما تعاني الأنظمة اللاسلكيّة بما فيها النّظام الخلوي من العديد من الظّواهر المرافقة لانتشار الأمواج الكهرومغناطيسيّة في الفضاء الحر، مثل التّداخل النّاتج عن عدّة مصادر منها عدم خطيّة النّظام، وتداخل الإشارات الكهرومغناطيسيّة من البيئة المجاورة، ويمكن أن تسبّب هذه التّأثيرات أخطاء إرسال مختلفة وقد تحدث تشوّهات في الإشارات أيضاً؛ ممّا يؤثّر فيما بعد على دقّة الإشارة المستقبلية، وقد يتسبّب في تعطيل معالجة الاتّصال، وبما أنّ النّظام الخلوي يعتمد على مفهوم إعادة استخدام التّردّد الذي يشير إلى استخدام القنوات الرّاديويّة على نفس تردّد الحامل لتغطية المناطق المختلفة التي تفصل بعضها عن بعض مسافات كافية من أجل تحسين السّعة والفعاليّة الطيفيّة، لذلك تعاني هذه الأنظمة الخلويّة من صعوبة استخلاص الإشارة المفيدة وتردّدها من الإشارة المشوّشة، وبما أنّ خصائص إشارات الضّجيج/التّداخل مثل المطال والتّردّد والطّور متغيّرة مع الوقت، وأحياناً غير معروفة فإنّ هذه الظّواهر السّلبية يزداد تأثيرها في الوقت الذي لا نتجح فيه الطّرق التقليديّة في إلغائها تأثيرها بشكل كامل، وهذا ما يدعو إلى استخدام طرق متقدّمة لمعالجة الإشارة في الزّمن الحقيقي؛ إذ يمكن أن يستخدم النّظام الرّاديوي تقنيّات تخفيض التّداخل والضّجيج خلال عمليّة الاتّصال واستشعار الطّيف لزيادة دقّة تحسّس الإشارة.

وتعدّ معالجة التّداخل والضّجيج جزءاً مهماً ولا يتجزأ من أنظمة معالجة الإشارات الحديثة؛ إذ توجد بعض الحالات التي يحدث فيها تداخل طيفي بين الإشارتين المرغوبة وغير المرغوبة، والتي لا يمكن معها استخدام المرشّح ذي البنة الثّابتة والمركّبات الثّابتة مع الزّمن الذي يقتصر عمله على البيئات التي تكون فيها الحزم التّردّدية للإشارة والضّجيج ثابتة وغير متداخلة طيفياً بعضها مع بعض. بالإضافة إلى كون الطّيف التّردّدي لمنابع الضّجيج غير معروف بالضّبط، ومعتمداً على الزّمن فإنّ المرشّحات ذات المركّبات الثّابتة لا يمكن أن تتصل مع هذا النّوع من إشارات الضّجيج والمعلومات المفيدة سوف تضيع، كما أنّ خصائص طرق الإرسال غير معروفة أو معروفة بشكل

تقريبية وغير ثابتة بطبيعتها؛ لذلك فإنّ استخدام المرشّح ذي البارامترات الثّابتة غير ممكن لتخفيض الضّجيج العشوائي؛ بالإضافة إلى أنّه حتى لو كان استخدام المرشّح الثّابت ممكناً فلا يمكن ضبط خصائصه بدقّة، ويصعب الوصول إلى ذلك، وقد يؤدي أدنى خطأ إلى زيادة قوّة الضّجيج، لذلك يتمّ استخدام المرشّح المتكيّف ذي المركّبات المتغيّرة لهذا الغرض، والذي يتمّ ضبط خصائصه (مثل المركّبات، حجم الخطوة، الطّول) أو تعديلها باستخدام إشارة الخطأ، وبالتالي يتمّ ضبط تابع نقله وفق خوارزمية تحسين، ووفقاً للتّغيرات في خصائص إشارة الدّخل، وهذا يمكنه من التّكيّف مع هذا التّغير من أجل تحسين أدائه والوصول إلى مركّبات المرشّح المثاليّة التي تسمح بتقليل الخطأ إلى أدنى حدّ ممكن، كما يمكنه العمل في البيئات المتغيّرة زمنياً، والتي يكون تطورها المستقبلي غير متوقّع، بالإضافة إلى أنّه لا يتطلب معرفة مسبقة عن خصائص الإشارة أو الضّجيج ولكن يمكن في بعض الحالات تزويده بمعلومات إضافية عنها على شكل ما يُسمى بإشارة التّجريب والتي تكون بمثابة دخل إضافي إلى الإشارة المعالجة، ثمّ تضبط الاستجابة التردّدية لهذا المرشّح بشكل أوتوماتيكي وفقاً لمعيار محدّد من أجل تحسين جودة إشارة الخرج بالاعتماد على سلوك إشارة الدّخل خلال القياس، ممّا يؤدي إلى تحسين نسبة الإشارة إلى الضّجيج التي تعدّ أحد المعايير المهمّة لتخفيض الضّجيج.

وبما أنّ بيئة الانتشار في نظم الاتّصالات اللاسلكيّة الخلويّة غير مثاليّة أبداً كما ذكرنا سابقاً فإنّ انتشار الأمواج الكهرومغناطيسيّة في هذه الأنظمة أيضاً يكون مترافقاً مع العديد من الظواهر المسبّبة لإضعاف قوّة الإشارة المستقبلية مثل تعدّد المسارات التي تسلكها هذه الأمواج من هوائي الإرسال إلى هوائي الاستقبال؛ ممّا يؤدي إلى وصول الإشارات الراديويّة إلى هوائي الاستقبال من خلال مسارين أو أكثر، وإنّ أسباب تعدّد المسارات تشمل انعكاس هذه الإشارات وانتشارها عند اصطدامها بالأسطح والعوائق التي تعترض طرق انتشارها (مثل طبقات الأتموسفير والأينوسفير)، وتحدث أيضاً نتيجة الانعكاس عن المسطّحات المائيّة والأجسام الأرضيّة (مثل الجبال والمباني وما إلى ذلك)، وهذا يسبّب تشوّه الإشارة الأصليّة نتيجة تداخلها مع الإشارات غير المباشرة أو المنعكسة، وتتضمّن تأثيرات تعدّد المسارات التّداخل الهدّام و البناء وإزاحة طور الإشارة، لذا حاولت الأجيال المختلفة من الأنظمة الخلويّة التّخفيف من هذا التّداخل عن طريق استخدام العديد من الطّرق التقليديّة، ولكن لم تتجح كثيراً في حلّ هذه المشكلة، لذلك يمكن تطبيق تقنيّة التّرشّيح المتكيّف باستخدام خوارزمية المتوسّط التّربيعي الأدنى (LMS: Least Mean Square) للتّخفيف من هذا التّداخل، وتحسين نسبة الإشارة إلى التّداخل بشكل كبير، بالإضافة إلى دراسة تأثير مطال الإشارات المنعكسة وطورها على أداء المرشّح في إزالة هذا الأثر.

ولا بدّ من التّطرّق أيضاً إلى دراسة الضّجيج العشوائي الذي يتغيّر بشكل لحظي، و يكون أثره مرافقاً للإشارة اللاسلكيّة في أثناء انتقالها في الوسط الراديوي في جميع أنظمة الاتّصالات دون



استثناء وبالتالي يلعب المرشح المتكيف دوراً مهماً في معالجة هذا النوع من الضجيج وتخمين أثره إلى أدنى حد ممكن.

أما الضجيج النبضي فيعد أكثر أنواع الضجيج ضرراً؛ إذ يسبب تشوه إشارة المعلومات المرسلّة، وبخاصّة في أنظمة المزج بتقسيم التردد المتعامد (OFDM: Orthogonal Frequency Division Modulation)، وقد تمّ اللجوء سابقاً إلى العديد من الطرق التقليدية لإزالته مثل طريقة القص وغيرها ولكن لم تتجح كثيراً في ذلك، كما أنّ هذا النوع من الضجيج لا يخضع لتوزيع غوص، وبالتالي فإنّ تابع الكلفة لإشارة الخطأ له مختلف عن حالة الضجيج الغوصي الأبيض المضاف لذلك لا يمكن استخدام الخوارزميات التقليدية مثل LMS وغيرها لمعالجته، ولهذا يهدف البحث إلى اقتراح استخدام خوارزمية جديدة لقيادة المرشح المتكيف من أجل معالجة هذا النوع من الضجيج حيث أثبتت هذه الخوارزمية تفوّقها على الطرق التقليدية التي كانت متباعدة مسبقاً من ناحية بساطتها وانخفاض تعقيدها الحسابي، وانخفاض القيمة المربعة الصغرى لإشارة الخطأ وهذا يساهم في زيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR: Signal To Noise Ratio) بشكل كبير أيضاً.

ولقد تمّ اعتماد خوارزمية LMS في معالجة الإشارة اللاسلكية والقضاء على مظاهر الضجيج والتداخل في النظم الخلوية باستخدام المرشح المتكيف نظراً للعديد من المزايا التي تتمتع بها هذه الخوارزمية، والتي تجعلها ملائمة لهذا النوع من الأنظمة، لذا كان لا بدّ من التفكير بتحسين هذه الخوارزمية من أجل التغلب على السلبيات التي تحدّ من أدائها في بعض الحالات، وبذلك تصبح هذه الخوارزمية هي الأفضل والأنسب من ناحية تحقيقها لجميع معايير الأداء المطلوبة في النظم الخلوية التي تعمل في الزمن الحقيقي.

## 2.1. الدراسة المرجعية:

بما أنّ الترشح المتكيف هو واحد من التقنيات الأساسية في معالجة الإشارة الرقمية في أنظمة الاتصالات فقد تمّ العمل بأنظمة إلغاء الضجيج منذ القديم، ويظهر البحث [1] مقارنة تخفيض الضجيج باستخدام المرشحات المتكيفة مع بعض التقنيات الأخرى مثل تحليل التردد الزمني ومعامل المصفوفة.

ولم تقتصر مجالات استخدام هذه المرشحات على إلغاء الضجيج فحسب، إنّما تمّ توظيفها في مجال واسع من التطبيقات مثل تتبع التردد وتعديل القناة وتعويض التشوه الناتج عن وسط النقل وفي تطبيقات تحسين الكلام [2] ومعالجة الصور والتحكم والترميز وتطبيقات معالجة مصفوفة الهوائي، بالإضافة إلى استخدامها في أجهزة الاتصالات والأجهزة الصناعية والمحولات والصوتيات إذ درست الأبحاث [3-4-5] فصل الإشارات الصوتية الرقمية باستخدام خوارزمية LMS، كما

أظهر المرجع [6] إمكانية تطوير لاغي الضجيج المتكيف واستخدامه لإلغاء الصدى في أنظمة الزمن الحقيقي، وعلى الرغم من تطبيقاته العملية الكثيرة إلا أن الجهود البحثية مستمرة في مجال المرشحات المتكيفة بوتيرة قوية، ومن المرجح أنه سيتم تطوير تطبيقات جديدة أخرى للمرشحات المتكيفة في المستقبل.

ووضّح المرجع [7] الفرق في تصاميم المرشحات المتكيفة عند استخدامها للإلغاء الفعّال للضجيج (ANC: Active Noise Cancellation) أو للتّحسين المتكيف للخط (ALE: Adaptive Line Enhancement)، ففي البنية الأولى يوجد حسّاسان: أحدهما لاستقبال الإشارة مع الضجيج المرافق لها، والآخر لاستقبال الإشارة المرجعية (الضجيج المرجعي)، أما في بنية ALE فيستخدم حسّاس واحد لاستقبال الإشارة المتضمنة الضجيج، ويمكن الاستفادة من هذه البنية في التطبيقات التي لا تتوفر فيها الإشارة المرجعية؛ إذ يتم الحصول عليها بأخذ نسخة مؤخّرة من إشارة المدخل الأولى، وهذا ما سنستعرضه بشكل مفصّل في الفصول القادمة من أجل توظيف بنية ALE في نظامنا المدروس.

وبما أنّ عملية إلغاء الضجيج من وجهة النّظر الصحيّة لا غنى عنها؛ إذ إنّ التّعرض المكثّف لمستوى عالٍ من الضجيج يمكن أن يسبّب مخاطر صحيّة للإنسان، وبخاصّة في مجال الصّوتيات، لذلك فقدت درست العديد من الأبحاث إمكانية تطبيق تقنيات الإلغاء المتكيف للضجيج في سماعات الأذن لزيادة مستوى إشارة الكلام للأشخاص الذين يعانون من ضعف السّمع، في الوقت الذي لا يكون فيه تضخيم الإشارة حلّاً لهذه المشكلة؛ لأنّه يزيد من طاقة الضجيج و سوء الفهم، ممّا يجعل الاستراتيجية الأفضل والمتوفرة تجارياً هي استخدام مكرفونين ونظام متكيف.

بالإضافة إلى ما سبق فللمرّشح المتكيف العديد من الاستخدامات في المجالات الطّبيّة، وتركّز العديد من الأبحاث العلميّة الحديثة على إمكانية توظيفه لتخفيض الضجيج العشوائي في الإشارات الطّبيّة الحيويّة؛ إذ إنّ من الصّعب تطبيق مرشّحات ذات مركبات ثابتة؛ لأنّ السّلك البشري معتمد على الزمن وغير معروف بدقّة لا سيما في حركات الجسم العشوائية (مثل ردود أفعال العضلات وحركات التنّفس وغيرها)، كذلك الأمر بالنّسبة لتغيّر البارامترات أثناء الاتّصال المباشر بين الأقطاب الكهربائيّة والجلد.

وقد درس البحث [8] أهميّة إشارة تخطيط القلب الكهربائي (ECG: Electro Cardio Gram) (في اكتشاف التّشوهات الخلفيّة في القلب إذ يعدّ تخفيض الضجيج في هذه الإشارة أمر مهمّاً جدّاً في العلوم الطّبيّة، وبالتالي تكون المرشّحات المتكيفة فعّالة جدّاً لتخفيض الضجيج والحصول على دقّة عالية لإشارة تخطيط القلب الكهربائي ذات التّردد المنخفض جدّاً، والتي تعدّ أحد البارامترات المهمّة في مراقبة حركة القلب وكشف التّشوهات الخلفيّة، كما درس البحث [9] تخفيض الضجيج من إشارة تخطيط القلب الكهربائي باستخدام مرّشح متكيف قائم على خوارزمية المربّعات الصّغرى

التكرارية (RLS: Recursive Least Squares)، وتظهر عمليات المحاكاة أنّ نسبة الإشارة إلى الضجيج لخوارزمية RLS المستخدمة أفضل مقارنة مع خوارزمية LMS بالإضافة إلى أنّ معدل التقارب أسرع، لكنّ الحسابات الرياضية تكون أعقد.

كذلك الأمر بالنسبة لإشارات تخطيط الدماغ الكهربائي (EEG: Electro Encephalo Graphy) إذ يمكن استخدام المرشح المتكيف في أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي عريض الحزمة التي تعدّ تقنية قوية وعالية الدقة، فقد درس البحث [10] استخدام إشارة تخطيط الدماغ الكهربائي في الكشف عن أنواع مختلفة من أمراض الدماغ، حيث إنّ أثناء تسجيل هذه الإشارات تتشوّش بيانات EEG بمختلف إشارات الضجيج المُسبّب عن طريق تداخل خط الطاقة وحركة الأقطاب والعضلات، وبالتالي تؤثر هذه الإشارات في تشخيص الدماغ؛ لذلك يجب إزالة إشارات الضجيج هذه لتجنّب هذه المشكلة، وبالتالي قام الباحث في هذا البحث باختيار ثلاثة أنواع من خوارزميات المرشح المتكيف (LMS, NLMS, RLS) لمقارنة أداء إشارة EEG في ظل الضجيج العشوائي و الضجيج الغوسي الأبيض، وأشارت نتائج المحاكاة إلى أنّ خوارزمية RLS يمكن أن تكون الخيار الأفضل لاستعادة إشارة EEG.

و فيما يخص أنظمة الاتصالات الخلوية، فقد تناولت الأبحاث والدراسات التي صبّت جلّ اهتمامها من أجل تخفيض آثار التداخل والضجيج على مرّ الأجيال المتتالية للنظام الخلوي، وبخاصة في السنوات الأخيرة مع تزايد الطلب على الاتصالات المتنقلة واتّساع قاعدة مستخدمي الهواتف المحمولة حول العالم؛ حيث درس البحث [11] تخفيض الضجيج الخلفي في الأجهزة المحمولة التي تعمل على نظام الأندرويد، أمّا الأبحاث [12-13] فقد تطرّقت إلى تداخل القناة المشتركة والمجاورة في الأنظمة الخلوية، وقد نجحت الكثير من الدراسات في تحقيق مستويات عالية من نسبة الإشارة إلى الضجيج/التداخل [14] عن طريق العديد من الطرق والتقنيات، مثل تخفيض الحد الأدنى للمسافة بين هوائي الإرسال والاستقبال، أو السماح بزيادة طاقة الإرسال، أو عن طريق تقسيم الخلايا إلى قطاعات، واستخدام الهوائيات الاتجاهية [15] وغيرها من الطرق التي يتم استخدامها بما يتناسب مع متطلبات كل جيل، والتي سيتم استعراضها لاحقاً ومع ذلك لا يمكن إلغاء أثر التداخل أو الضجيج بشكل كامل، ليس فقط في النظام الخلوي إنّما في جميع أنظمة الاتصالات على حدّ سواء، وكذلك الأمر بالنسبة للأنظمة الخلوية التي تعاني من التداخل متعدّد المسارات الذي يشوّه الإشارة الأصلية من خلال تداخلها مع الإشارات غير المباشرة (المنعكسة)، فقد تمّ اللجوء إلى عدّة حلول تناولتها العديد من الدراسات السابقة للتخفيف من تأثيره، من أهمّها توضع الهوائي في مكان الإشارات الأقوى، لكنّ هذه الطريقة غير قادرة على تقدير مستوى هذه الإشارات عند موقع معيّن سابق للتركيب، كما أنّ الهوائيات الاتجاهية قادرة على إنقاص حجم مكونات الإشارة المنعكسة القادمة، ولكن نظراً لكون المستخدم في الأنظمة الخلوية يتحرك بسرعة

من موقع إلى آخر خلال عملية التّقل، فإنّه يجب اختيار هوائي يبيّ في جميع الاتجاهات (Omnidirectional) لضمان احتياجاته، وبالتالي فإنّ استخدام هذا النوع من الهوائيات سيزيد مشكلة التّداخل في البيئة متعدّدة المسارات، لأنّه سيجمع الإشارات من كلّ اتجاه [14]، 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 تسبّب خوفاً فإنّ الإشارة الأخرى من الهوائي الثاني يمكن ألاّ تسبّب ذلك، وهذا يعدّ مكلفاً مادياً، أو بطريقة أخرى يمكن للمرسل أن يرسل المعلومات عبر قناتين أو أكثر من القنوات المنفصلة إحصائياً، بينما يجمع هوائي الاستقبال هذه الطّاقة، وبمعالجة دقيقة سوف يستعيد المرسل المعلومات، وقد يتسبّب ذلك في ضياع بعضها، بالإضافة إلى أنّ هناك العديد من الدراسات التي تشير إلى استخدام طريقة مواد الامتصاص وغيرها، أو المكونات البرمجية التي تتضمن خوارزميات متطورة لإنقاص مصادر خطأ القياس والتّداخل غير المعروفة [16].

وبما أنّ المرشحات المتكيّفة تمتاز ببنيّتها البسيطة وتكلفتها الماديّة المنخفضة وسهولة تنفيذها بالإضافة إلى قدرتها على تغيير بارامتراتهما بشكل آلي، ونظراً لتصميمها الذي يتطلّب القليل أو عدم المعرفة بخصائص الإشارة أو التّداخل، لذلك كلّ كان لا بدّ من استثمار هذه المزايا لتخفيض التّداخل في هذه النّظم بشكل كبير، والسّماح بتحسين جودة الإشارة المستقبلية من خلال تقنيّات وطرق معالجة الإشارة باستخدام المرشّح المتكيّف [17]، ونظراً لقدرة هذا المرشّح أيضاً على تخفيض الضّجيج والتّداخل ضيق الحزمة الوحيد والمتعدّد من الإشارة عريضة الحزمة، فقد تمّ استخدامه بوصفه مرشّح شقوق في بعض التّطبيقات، فقد أظهر المرجع [18] إمكانية تطوير مرشّح الشقوق المولّف المتكيّف لتخفيض الضّجيج في إشارات تخطيط القلب الكهربائي ECG والحصول على زيادة بمقدار 26% لنسبة الإشارة إلى الضّجيج عن استخدام مرشّح الشقوق المتكيّف التقليدي، كما درس المرجع [19] تصميم المرشّح المتكيّف كمرشّح شقوق لتخفيض الضّجيج النّبضي الدّوري في أنظمة OFDM بالاعتماد على اتّصالات خط الطّاقة، وتعدّ هذه الطّريقة فعّالة وبسيطة من حيث التّكلفة، وأوضح المرجع [20] قدرة هذا المرشّح على إزالة تداخل خط الطّاقة في أنظمة الزّمن الحقيقي، أمّا في البحث [21] فقد تمّ الاستفادة من ميزة مرشّح الشقوق في ترشيح الإشارات المتداخلة لتخفيض تداخل القناة المجاورة في نظامنا الخلوي المدروس.

كما تناولت الكثير من الأبحاث تخفيض الضّجيج النّبضي باستخدام المرشّح المتكيّف؛ إذ يعدّ هذا النوع من الضّجيج مزعجاً، وهو يشير إلى القيم غير المتوقّعة للضّجيج مع مطالات عالية جدّاً، وقد درس البحثان [22-23] استخدام المرشّح المتكيّف لتخميد الضّجيج النّبضي في إشارة ECG عن طريق اقتراح استخدام خوارزمية لتحقيق ذلك، وقارن البحث [24] أداء هذه الخوارزمية المستخدمة مع خوارزمية LMS حيث أثبتت المحاكاة فعالية هذه الخوارزمية الجديدة التي تعطي

نتائج مرضية وسليسة إذ يمكن تطبيقها وتنفيذها في أي نظام يعاني من الضجيج النبضي لزيادة الدقة والفعالية، كما قارن أحد الأبحاث تقنية الإلغاء المتكيف للضجيج القائمة على خوارزمية (NLMS: Normalized least Mean Square) وخوارزمية RLS بتقنية أخرى كانت موجودة من قبل تسمى القص، بالإضافة إلى العديد من الأبحاث الأخرى [25-26] التي تطرقت إلى تخفيض الضجيج النبضي في أنظمة OFDM التي تعد أكثر الأنظمة تأثراً بهذا النوع من الضجيج.

وبما أن المرشحات المتكيفة تعتمد في عملها على خوارزمية تحسين تستخدم لقيادة المرشح، فقد تنوعت الأبحاث التي قارنت أداء هذه الخوارزميات مع بعضها البعض من ناحية معايير الأداء المطلوبة [27]، ففي المرجع [28] تم تحليل خوارزميات المرشح المتكيف وأظهر مزايا وعيوب خوارزمية LMS، أما المرجع [17] فقد درس تحليل أداء لاغي الضجيج المتكيف باستخدام خوارزمية NLMS والتي تعد أحد النسخ المعدلة لخوارزمية LMS، كما ركزت المراجع [29-30] [31-32] على مقارنة خوارزمية LMS مع خوارزمية RLS ودرست تخفيض الضجيج باستخدام المرشح المتكيف ضمن أنظمة الاتصالات.

وفي الوقت نفسه أضافت بعض الأبحاث الكثير من التحسينات على بعض الخوارزميات [33]، إلا أن الغالبية العظمى من الأبحاث أجمعت على أن خوارزمية LMS هي الأبسط والأسهل تنفيذاً والأقل كلفة، فلقد أظهرت العديد من الدراسات السابقة عمل الخوارزمية المذكورة وفعاليتها لقيادة المرشح المتكيف من أجل تخفيض العديد من أنواع الضجيج (الضجيج الأبيض، النبضي، الوردية...)، بالإضافة إلى استخدامها في العديد من التطبيقات الطبية ومختلف مجالات الاتصالات والأجهزة الصناعية، وتم الحصول على نتائج جيدة من ناحية معايير أداء الخوارزميات مثل: معدل التقارب، الاستقرار، انخفاض التعقيد الحسابي، خطأ الحالة الثابتة المنخفض، في الوقت الذي تم فيه استخدام المرشح المتكيف أيضاً كمرشح شقوق باستخدام خوارزمية LMS نفسها لإزالة إشارات ذات ترددات معينة من حزمة طيف ترددي، وتم الحصول على حزم منع على شكل شق ضيق وعميق عند الترددات الموافقة لتردد الشق [18-19]، ورغم ذلك تعاني هذه الخوارزمية من بعض السلبيات التي تعيق إمكانية استخدامها في بعض التطبيقات [34]، لذلك فقد اتجهت الكثير من الأبحاث والدراسات لإجراء تحسينات عليها، فظهرت العديد من النسخ التي تختلف عن خوارزمية LMS المعيارية بإجراء تعديل بسيط في أحد بارامتراتها مما يساهم في تحسين مستوى أدائها وهذا ما أظهرته العديد من المراجع مثل [35-36-37] وبالتالي في حال تم التغلب على هذه المشاكل والسلبيات بإجراء بعض التعديلات في بنية الخوارزمية [38-39] فستصبح هي الأولى من ناحية التطبيق وتحقيقها لمتطلبات الأداء، وهذا ما تم العمل عليه في الفصل الأخير من هذا البحث.

### 3.1. منهجية البحث:

لقد تم تنظيم منهجية البحث وأدواته ودواعي استخدامها وفق المراحل الآتية:



### 4.1. فرضية البحث:

نظام الاتصال المطلوب تحسين أدائه: نظام الاتصالات الخلوية.  
قناة الاتصال: وسط الاتصال اللاسلكي في الفراغ الحر.  
نوع الإشارة: الإشارة اللاسلكية (الأمواج الكهرومغناطيسية).  
بنية المرشح المستخدمة: المرشح المتكيف ذو الاستجابة النبضية محدودة المدة من النوع المستعرض.  
خوارزمية عمل المرشح المتكيف: خوارزمية المتوسط التريبيعي الأدنى.  
طريقة تخفيض الضجيج المستخدمة: هي طريقة التحكم الفعال بالضجيج.

### 5.1. هدف البحث:

يهدف البحث إلى التخفيض من الضجيج الغوسي الأبيض المضاف، والضجيج النبضي المرافق للإشارة اللاسلكية في نظم الاتصالات الخلوية باستخدام المرشح المتكيف الذي يتميز بقدرته أيضاً على تخفيف آثار أنواع التداخل التي تعاني منها الأنظمة الخلوية بشكل رئيسي، كما يهدف البحث إلى توظيف قدرة المرشح المتكيف على إزالة التداخل ضيق الحزمة، الوحيد والمتعدد من الإشارة عريضة الحزمة في إمكانية تصميمه كمرشح شقوق؛ لتخفيض تداخل القناة المجاورة

مع ترك الإشارة دون تغيير، ويهدف البحث في نهايته إلى تحسين أداء المرشح المتكيف عن طريق خوارزمية العمل المستخدمة لقيادته.

## 6.1. الضجيج:

### 1.6.1. تعريف الضجيج:

يعرّف الضجيج على أنه إشارة تتغير بشكل عشوائي، وهو أي نوع من الإشارات غير المرغوب بها (المزعجة، غير المتوقعة، المسببة للتشويه...) التي ترسل مع إشارة الرسالة في قناة الاتصال وتتداخل معها، وتعدّ غير مرغوبة لأنها تسبّب عدم القدرة على تفسير إشارة الرسالة الأصلية بشكل صحيح في جانب جهاز الاستقبال، ويمكن أن يحدث الضجيج بشكل طبيعي أو يولّد من خلال العديد من المصادر من قبل البشر، فقد يكون مصدره كهربائياً، صوتياً، أو أي نوع آخر من الأوساط، كما أنّ الاهتزاز الميكانيكي قد يكون أسلوباً من الضجيج الذي يتسبّب في حدوث مشاكل في جميع مجالات الاتصالات والأجهزة الإلكترونية، لذلك فإنّ تخفيض الضجيج في أنظمة الاتصالات عن طريق فصل الإشارة المطلوبة عن الضجيج والتداخل الذي تتعرّض له أثناء انتشارها عبر قناة الاتصال يؤدي إلى تعزيز نسبة الإشارة إلى الضجيج.

### 2.6.1. تصنيف الضجيج:

#### 1.2.6.1. تصنيف الضجيج وفق مصدره:

- إنّ أنواع ومصادر الضجيج والتشوهات عديدة لذلك يصنّف الضجيج وفقاً لمصدره إلى:
- الضجيج الخارجي: مصادره طبيعية مثل البرق والضجيج الشمسي... الخ.
  - الضجيج الإلكتروني: مثل الضجيج الحراري الذي يؤثر في أداء جميع الأجهزة والنظم الإلكترونية، فهو ينتج عن تغيّرات عشوائية في الإشارة الكهربائية تتجم عن الحركة العابرة للإلكترونات بفعل التّحريض الحراري؛ لذا فإنّ أثر هذا الضجيج يزداد مع ازدياد الحرارة، ومن أهم سمات هذا الضجيج أنّه يحقق مواصفات الضجيج الأبيض الموضّح لاحقاً، ويعدّ ضجيج الإطلاق مثلاً على الضجيج الإلكتروني أيضاً.
  - الضجيج الصوتي: الصّادر عن مصادر الحركة أو الاهتزاز أو التصادم مثل الآلات الدوّارة والعجلات المتحرّكة والنّقر على لوحة المفاتيح والرياح والمطر.
  - الضجيج الكهرومغناطيسي: والذي يتداخل مع إرسال واستقبال الصّوت والصّورة والبيانات عبر طيف التردّد اللاسلكي.
  - الضجيج الكهروستاتيكي (ضجيج الكهرباء الساكنة): النّاتج عن وجود جهد كهربائي.
  - الضجيج الخلفي: يعرف الضجيج الخلفي في مجال الصّوتيات وفي مجال الهندسة الصّوتية تحديداً بأنّه أي صوت غير الصّوت الذي تتمّ مراقبته (الصّوت الأساسي)،

وهو شكل من أشكال ضجيج التلوث أو التداخل، ويمكن أن يولد الضجيج الخلفي عن طريق إثارة النظام الخطّي باستخدام الضجيج الأبيض، ومن أمثلته: كلام الناس، الضجيج من الحيوانات أو الطيور، الضجيج الميكانيكي من الأجهزة مثل الثلاجات والمكيفات ووحدات التّغذية... الخ، ويكون هذا النوع من الضجيج غير مرغوب بشكل خاص خلال المحادثة عبر الهاتف المحمول في حال تواجد المتكلم في بيئة مشوّشة، وبالتالي يمكن تنفيذ آلية إلغاء الضجيج في هذه الأجهزة الخلويّة لإخماد الضجيج الخلفي وتمرير إشارة الكلام فقط إلى النّقطة الأخرى، ويعدّ الضجيج الخلفي ضجيجاً مضافاً حيث يضاف بسهولة إلى إشارة الكلام النّظيفة في كل لحظة زمنيّة. كما توجد أنواع أخرى من الضجيج مثل تشوّه قناة الاتّصال والخفوت والصّدى والضجيج المعالج وضجيج التّكليم وحزم البيانات الضّائعة بسبب الازدحام... الخ.

#### 2.2.6.1. تصنيف الضجيج وفق طيفه التّرددي:

كما يمكن تصنيف الضجيج بشكل عام وفق المجال التّرددي الحالي إلى:

- الضجيج عريض الحزمة: تتوزّع الطّاقة بشكل متساو عبر جميع حزم التّردّد ومن أمثلته:

❖ الضجيج العشوائي: يشير الضجيج العشوائي إلى الإشارة الكهربائيّة أو الصّوتيّة ذات الكمّيّات المتساوية عند جميع التّردّدات مثل الصّوت منخفض التّردّد لطائرة نفاثة، كما يعدّ الضجيج الأبيض أيضاً مثلاً على الضجيج العشوائي لأنّه إشارة عشوائيّة تملك كثافة طيفيّة متساوية عند جميع التّردّدات؛ ممّا يمنحها قوّة كثافة طيفيّة ثابتة لذلك فهي تستخدم كإشارة تجريب.

- الضجيج ضيق الحزمة: وهو إشارة دوريّة أو مجموع محدود من الإشارات الدّوريّة تتركز فيه معظم الطّاقة حول تردّدات محدّدة ومن أمثلته: الضجيج المسبّب بواسطة الآلات الدوّارة.

- الضجيج الفيزيائي: هو مزج لعدد لا متناهٍ من التّوافقيّات الجببيّة ذات التّردّدات المختلفة.

- الضجيج محدود الحزمة.
- الضجيج النبضي الذي ستتم دراسته في الفصول القادمة.
- نبضات الضجيج العابرة.
- الضجيج الملون: ويمكن القول إنّ أي ضجيج ليس أبيض يمكن عدّه ضجيجاً ملوّناً، والضجيج الملون له طيف ترددي محدود النطاق داخل مجال، وبالتالي فهو يختلف عن الضجيج الأبيض الذي يمتدّ على كامل الطّيف، ومن أمثلته:



- ❖ الضجيج الأسود: وهو ضجيج يحوي على طيف ترددي ذي مستوى طاقة مساو للصفر عند جميع الترددات باستثناء عدد قليل من النطاقات الضيقة جداً.
- ❖ الضجيج الوردي: هو إشارة ذات طيف ترددي، له طاقة كثافة طيفية متناسبة عكسياً مع تردد الإشارة، وهو على نقيض الضجيج الأبيض الذي له شدة متساوية عند جميع الترددات.
- ❖ ضجيج براون (الضجيج الأحمر): وهو إشارة ضجيج ناتج عن حركة براون (نسبة إلى العالم الذي اكتشف الحركة) وبالتالي يكون الضجيج الأحمر قوياً في أطوال الموجة الطويلة القريبة من نهاية الطيف المرئي.

بعد أن تم استعراض أهم أنواع الضجيج المؤثرة في قنوات الاتصال [14-16]، أصبح بإمكاننا تحديد أنواع الضجيج الأكثر تأثيراً في نظامنا المدروس الذي تتم فيه عمليات المعالجة على مستوى الإشارة اللاسلكية، وهما: الضجيج الأبيض الذي يكون مرافقاً لجميع أنظمة الاتصالات ويشمل جميع التغيرات العشوائية في الإشارة بما فيها تأثير الضجيج الحراري، والنوع الثاني وهو الضجيج النبضي الذي يعد أكثر ضرراً فهو يسبب تشوهات في إشارة المعلومات، أما الأنواع الأخرى من الضجيج فلن نتطرق إليها في سياق هذا البحث.

### 3.6.1. تخفيض الضجيج:

بما أن الضجيج من العوامل الأساسية التي تحد من القدرة على معالجة الإشارة والاتصال وتؤثر في دقة النتائج في أنظمة قياس الإشارة (إذ يعد الضجيج هو العامل البيئي الأكثر أهمية والذي يحدد موثوقية تشغيل النظام من الناحية العملية)، لذلك فقد تم تطوير العديد من النظريات لتخفيض الضجيج، ولكن لا يمكن لأية نظرية منها أن تحد منه بشكل كامل، إنما تخفض بشكل كبير من مستوى الضجيج الذي يمكن حصوله. وتقسم طرق تخفيض الضجيج إلى:

#### 1.3.6.1. طريقة التحكم السلبي بالضجيج:

يعد التحكم السلبي بالضجيج طريقة لا يُسمح فيها للضجيج من المصدر بالوصول إلى أذن الإنسان، ويتم ذلك عن طريق حظر مسار الضجيج باستخدام المواد الماصة له، أو من خلال انعكاس الضجيج في بعض الاتجاهات باستخدام الحواجز في طريق مساره، وتعد مادة البوليسترين والملابس والخشب أمثلة على تلك المواد التي تمتص الضجيج وتقلل من الآثار السلبية الناتجة عنه، وتعد هذه الطريقة رخيصة جداً للتنفيذ ولا تتطلب أي مصدر طاقة.

#### 2.3.6.1. طريقة التحكم الفعال بالضجيج:

هي طريقة إلكترونية فعالة جداً لتقليل تأثير الضجيج في البيئة، تعتمد في الأساس على توليد معاكس للضجيج من مصدر ثانوي، وهو مساو له في المطال ومعاكس في الطور، بحيث يتداخل الضجيج ومعاكسه تداخلاً هداماً لإزالة آثار الضجيج من مساره، وتكون هذه الطريقة فعالة جداً عند الترددات المنخفضة (أقل من 500-600 هرتز) في الوقت الذي تكون فيه الطرق السلبية

غير فعّالة أو مكلفة الاستخدام من أجل تحقيق نفس المستوى من النتائج، لكن هذه الطريقة الفعّالة تتطلب مصدر طاقة للعمل وتعدّ مكلفة أكثر، وإنّ البارامترات الثلاثة التي تؤثر في أداء المرشّح الرقمي في نظام الإلغاء الفعّال للضجيج هي: نوع المرشّح المتكيّف، وقيم أوزان المرشّح، وعدد الأوزان.

وطالما أنّه يمكن تطبيق إلغاء الضجيج السلبي والفعّال بشكل منفصل، فإنّه يمكن دمج الطريقتين معاً للحصول على الفعّالية القصوى في إلغاء الضجيج، ولكن بما أنّ عمليّات المعالجة في هذا البحث تتمّ باستخدام المرشّح المتكيّف فإنّ طريقة تخفيض الضجيج المستخدمة هي طريقة التّحكّم الفعّال بالضجيج.

## 7.1. تنظيم فصول الأطروحة:

تمّ تنظيم البحث وفق عدة خطوات أساسيّة هي كالآتي:

**الفصل الأوّل:** تضمّن مقدّمة عامة للبحث مع الدّراسة المرجعيّة الموثّقة وتنظيم منهجيّة الأطروحة وفرضيّة البحث وهدفه، بالإضافة إلى تعريف الضجيج، وذكره مصادره، وطرق تخفيضه من أجل تحديد أنواع الضجيج المؤثّرة في نظام الاتّصالات المدروس، والتي يجب تخفيضها من أجل تحسين أدائه في الوقت الذي يكون فيه تأثير بعضها مهماً.

**الفصل الثّاني:** تضمّن تعريفاً بالمرشّحات المتكيّفة، ومبدأ عملها ومقارنتها مع المرشّحات الثّابتة، بالإضافة إلى استعراض بنى تصميمها وتوضيح مزايا بنية التّصميم المختارة، ومن ثمّ ذكر العديد من تطبيقات المرشّحات المتكيّفة؛ ليتمّ استخدام بعضها في تخفيض الضجيج والتّداخل في نظامنا المدروس، كما تناول الفصل توضيح مبدأ عمل خوارزميّة المرشّح المتكيّف، والتّعرف على أكثر نوعي الخوارزميّات استخداماً، مع ذكر معايير مقارنة أداء الخوارزميّات في الأنظمة المتكيّفة، ومن ثمّ وضّح هذا الفصل في نهايته المفهوم الأساسي لتخفيض الضجيج باستخدام المرشّح المتكيّف ومبدأ عمل هذه الأنظمة والعوامل المؤثّرة في أدائها.

**الفصل الثّالث:** تضمّن تحديد النّظام الخلوي كنظام اتّصال مراد تحسين أدائه باستخدام المرشّح المتكيّف، ومعالجة الإشارة اللاسلكيّة في هذه الأنظمة لتخفيض أنواع الضجيج والتّداخل الأساسيّة التي تتعرّض لها، كذلك تصميم بنية المرشّح المتكيّف كمرشّح شقوق لتخفيض تداخل القناة المجاورة في النّظام الخلوي المدروس.

**الفصل الرّابع:** تضمّن تخفيض التّداخل النّاتج عن تعدّد المسارات الذي تتعرّض له الإشارة اللاسلكيّة في الأنظمة الخلويّة باستخدام المرشّح المتكيّف.

**الفصل الخامس:** تضمّن تخفيض الضجيج النّبضي المرافق لنقل الإشارة اللاسلكيّة في النّظام الخلوي باستخدام المرشّح المتكيّف الذي يعمل وفقاً لخوارزميّة العمل المستخدمة في هذا الفصل.

**الفصل السادس:** تضمّن تحسين أداء خوارزمية LMS المستخدمة في هذا البحث عن طريق دمج هذه الخوارزميات بشكل متوازٍ وتسلسلي ممّا يساهم في القضاء على سلبيات هذه الخوارزمية وتحقيق الأداء الأفضل لها.

**خاتمة البحث:** تتضمن الاستنتاجات التي تمّ التوصل إليها من خلال هذه الدراسة واقتراح بعض التوصيات التي يمكن متابعة العمل بها في الأعمال المستقبلية.

## الفصل الثّاني: الأساسيات النظريّة في المرشّحات المتكيّفة

## 1.2. تمهيد:

الإشارات: هي توابع تحمل معلومات عن الخصائص لظواهر فيزيائية محدّدة، وتوجد أنواع متعدّدة من الإشارات كالصوتية، الكهربائية، البصرية، الكهرومغناطيسية..، وتملك هذه الإشارات العديد من البارامترات التي تصف خصائصها (مثل المطال والطور والتردد... الخ)، فإذا كانت هذه البارامترات ثابتة فستكون الإشارة ثابتة، أما في حال الإشارات غير الثابتة فسيغيّر واحد على الأقل من هذه البارامترات مع الوقت.

ويمكن تصنيف الإشارات بشكل عام إلى نموذجين: مستمرة (تمثيلية) أو متقطّعة (رقمية)، ففي الإشارة التمثيلية يتم تمثيل الكمية بواسطة جهد كهربائي أو تيار في الزمن المستمر، بينما تمثل في الإشارات الرقمية بمجموعة من النبضات off/on بواسطة الأرقام الثنائية 0 أو 1 ، وعلى الرغم من استخدام الإشارات التمثيلية بشكل كبير في الأجهزة الإلكترونية سابقاً إلا أنّ تقنية الإشارات الرقمية أصبحت أساس أنظمة الاتصالات على مدى العقود القليلة الماضية، بسبب إمكانية تطبيقها في العديد من الوسائل التقنية المختلفة والمتطلبات التجارية، كما تستخدم خوارزميات لمعالجة هذه الإشارات الرقمية في العديد من المجالات والتطبيقات المختلفة مثل؛ الاتصالات السلكية واللاسلكية، الرادار، السونار، معالجة الفيديو والصوت، تخفيض الضجيج، التنبؤ بالبيانات، وتستخدم حالياً تقنيات معالجة الإشارة الرقمية بكثافة في الإلكترونيات الحديثة؛ إذ تتواجد الإشارات الكهربائية في كل مكان من حياتنا فهي تستخدم في أجهزة القياس، والاتصالات، وأجهزة الصوت والفيديو، وأنظمة التحكم، وأجهزة الحواسيب، وتنقل هذه الإشارات المعلومات التي يمكن استخراجها بواسطة تقنيات معالجة الإشارة؛ إذ يمكن معالجة الإشارة بطريقة رقمية باستخدام حاسوب أو شريحة معالج الإشارة الرقمية التي تقوم بعملية الحصول على الإشارات، وتمثيلها، ومعالجتها، وتحويلها، واستخراج المعلومات منها باستخدام تقنيات المعالجة لترشيح الرقمي، أو التكامل الرقمي أو الارتباط الرقمي.

## 2.2. نظرة على المرشحات:

المرشحات هي أجهزة تقوم بإجراء الترشيح و التنعيم و التوقع أو إزالة التفاف الإشارة باستخدام تقنيات معالجة الإشارة كما تستخدم هذه الأنظمة لتعديل الخصائص الطيفية للإشارة من أجل تحسين جودة الإشارة وتخفيض/إزالة الإشارات المسببة للتشويش؛ أو لإنقاص عرض حزمة الإشارة وجعلها أكثر سهولة للنقل، وإنّ عملية ترشيح الإشارة بشكل عام تدل على استخلاص الإشارة المرغوبة من الإشارة الحاوية على كلا المكونين؛ المرغوب وغير المرغوب فيه، وهذا أبسط أشكال معالجة الإشارات التي تشمل استخراج المعلومات المفيدة وتحسينها وتخزينها ونقلها، وإنّ المهام الثلاثة الأساسية التي يؤديها المرشح لمعالجة المعطيات هي:

**التّرشيح:** وهو استخلاص المعلومات المهمة عند اللحظة  $t$  باستخدام البيانات المقاسة حتى اللحظة  $t$  بما فيها اللحظة  $t$ .

**التّنعيم:** يختلف عن التّرشيح؛ إذ ليس من الضّروري أن تكون المعلومات المهمة متاحة عند اللحظة  $t$  إنّما يمكن استخدام البيانات المقاسة لاحقاً بعد اللحظة  $t$  للحصول على هذه المعلومات، وبما أنّ عملية التّنعيم قادرة على استخدام البيانات التي تمّ الحصول عليها، ليس فقط حتى اللحظة  $t$  إنّما بعدها أيضاً؛ لذلك فإنّ التّنعيم أكثر دقة في بعض القياسات من التّرشيح.

**التّوقع:** وهو استخلاص المعلومات المهمة عند اللحظة  $t + \tau$  في المستقبل حيث  $(\tau > 0)$  باستخدام البيانات المقاسة حتى اللحظة  $t$  بما فيها اللحظة  $t$ .

**كما يمكن تصنيف المرشحات إلى أربعة أنواع:**

**مرشّح التّمرير المنخفض:** وهو المرشّح الذي يسمح بتمرير الإشارات الأقل من تردّد القطع المحدّد مسبقاً، وتخميد الإشارات الأعلى منه.

**مرشّح التّمرير العالي:** وهو المرشّح الذي يسمح بتمرير الإشارات الأعلى من تردّد القطع المحدّد مسبقاً، ولا يمرّر الإشارات الأقل منه.

**مرشّح تمرير الحزمة:** وهو المرشّح الذي يمرّر الإشارات داخل مجال ترددي محدّد مسبقاً ويخمد التّردّدات خارج هذا المجال.

**مرشّح منع الحزمة:** وهو المرشّح الذي يسمح بمرور جميع التّردّدات باستثناء فترة زمنية محدّدة. كما تصنّف المرشّحات إلى خطيّة وغير خطيّة حيث يكون المرشّح خطيّاً إذا كانت الكمية المرشّحة أو المنعّمة أو المتوقّعة عند خرج الجهاز هي تابع خطّي للملاحظات المطبّقة على دخل المرشّح، أما إذا لم تزدد طاقة الخرج بالمقدار نفسه مع كل اختلاف في طاقة الدّخل فالمرشّح غير خطّي.

### 3.2. ما هو المرشّح المتكيّف؟

هو جهاز حاسوبي يشكّل نموذجاً للعلاقة بين إشارتين في الزّمن الحقيقي على نحو متكرّر، ويتمّ تحقيقه بوساطة مجموعة من التّعليمات البرمجية التي يتمّ تطبيقها على جهاز معالجة حاسوبية أو بوساطة شريحة معالج إشارة رقمية (DSP: Digital Signal Processor) أو مجموعة من العمليات المنطقية في حقل مصفوفة البوابة القابلة للبرمجة FPGA، أو عن طريق دائرة متكاملة فائقة (VLSI: Very Large Scale Integration)، ويعدّ المرشّح المتكيّف أحد أنواع المرشّحات الرّقمية ذات المركّبات المتغيرة مع الزّمن (مثل عرض الحزمة، تردّد الرّنين..) والتي تملك خصائص ضبط ذاتي؛ إذ إنّ المرشّح الرّقمي هو جزء لا يتجزأ من الطّرق الحديثة المتبعة لمعالجة الإشارة.

ويمكن تعريف المرشح المتكيف من الجوانب الآتية:

- ✓ الإشارة التي تتم معالجتها بواسطة المرشح.
  - ✓ البنية التي تحدّد كميّة حساب إشارة الخرج من خلال معالجة إشارة الدّخل.
  - ✓ البارامترات داخل هذه البنية والتي تتغيّر بشكل متكرّر لتغيير العلاقة بين دخل وخرج المرشح.
  - ✓ خوارزمية المرشح المتكيف التي تصف كميّة تعديل البارامترات من لحظة زمنيّة محدّدة إلى أخرى.
  - ✓ اختيار عدد نقاط تفرع المرشح التي تحدّد طول شعاع الوزن، وعدد العينات المرجعيّة المطلوبة لحساب شعاع الوزن عند كل تكرار.
- ويشير **مصطلح المرشح المتكيف** إلى تغيير خصائص المرشح بطريقة آليّة لتحسين الأداء، والحصول على جودة الإشارة الأفضل الممكنة على الرّغم من تغيير شروط الإشارة/النّظام. بحيث يتكيف مع هذا التّغير، ويمكنه إعادة ضبط نفسه باستمرار؛ إذ يقوم هذا المرشح بتعديل قيم بارامتراته، وضبط تابع نقله ذاتيّاً لتحقيق الاستجابة بشكل متكيف مع تغيير خصائص إشارة الدّخل من أجل تخفيض الخطأ إلى أدنى حدّ ممكن، وذلك وفقاً لخوارزمية تحسين تُقاد بواسطة إشارة الخطأ، ونحصل في النّهاية على إشارة الخرج بدون المكونات غير المرغوبة (التّشوه، الضّجيج، التّداخل)، وتتميّز هذه المرشحات المتكيّفة بسهولة استقرارها، وبساطة تنفيذها كما ترتبط عادة بمجال واسع من معالجة الإشارات الإحصائيّة.
- ويقال عن المرشح المتكيف أنّه خطّي إذا كان تقدير الكميّة المهمّة محسوباً بشكل متكيف عند خرج الجهاز كمجموع خطّي للبيانات الملاحظة والمطبّقة على دخل المرشح وإلاّ يقال عنه بأنّه غير خطّي.
- نعبّر عن الكميّات العدديّة بأحرف صغيرة، وعن الكميّات الشعاعيّة بأحرف كبيرة، ونعبّر عن التّتابعات العدديّة بالرمز  $x(n)$  ، بينما تعبّر  $X(n)$  عن الإشارات والتّتابعات الشعاعيّة، بحيث تشير  $n$  إلى دليل الزّمن و المكان المنقطع.

#### 4.2. مقارنة المرشحات المتكيّفة والثّابتة:

يبين الجدول (1-2) أبرز نقاط الخلاف بين المرشحات المتكيّفة والمرشحات الثّابتة (غير المتكيّفة):

الجدول (2-1): مقارنة بين المرشحات المتكيفة والثابتة.

المرشحات الثابتة	المرشحات المتكيفة
تتطلب حساباً مباشراً للمتوسطات الزمنية اللازمة بالاعتماد على كمية كبيرة من عينات الإشارات، مما يتطلب حيزاً واسعاً من الذاكرة.	تقوم بتحديث بارامتراتها في كل لحظة زمنية تتوفر فيها عينة الإشارة الجديدة، مما يوفر من الذاكرة.
عملية تجميع عينات الإشارات ومعالجتها لتوليد خرج المرشح تؤدي إلى تأخير كبير في الخرج وهذا غير مقبول في العديد من تطبيقات الزمن الحقيقي مثل إلغاء الصدى الصوتي، تحديد هوية النظام الديناميكي، تعديل القناة، إلخ...	لا تحدث أي تأخير كبير في خرج المرشح نظراً لأن الخرج يقدر عادةً من أجل كل عينة جديدة قادمة من إشارة الدخل.
لا يمكنها التكيف مع الإحصائيات الجديدة بمجرد أن يتم تصميمها، لذلك تعد مفيدة عندما تكون بارامترات الإشارة والقناة معروفة.	تقوم بملاحقة التغيرات في إحصائيات الإشارة أو الأنظمة المتغيرة زمنياً، لذلك تعد مفيدة عندما ديناميكية الإشارة أو القناة لا يمكن التنبؤ بها وتتغير مع الزمن.
تعاني من بعض التعقيد في البرمجة والتنفيذ.	إن التكيف، بشكل عام، أبسط بكثير من عملية الترميز في البرمجيات أو التنفيذ في المكونات المادية.

## 5.2. مبدأ الترشيح المتكيف:

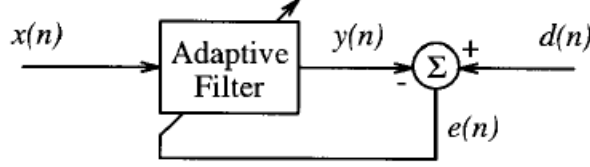
يظهر المخطط الصندوقي في الشكل (2-1) دخول العينة القادمة من إشارة الدخل الرقمية  $x(n)$  إلى جهاز يسمى المرشح المتكيف، والذي يحسب عينة إشارة الخرج المقابلة  $y(n)$  في اللحظة  $n$  والتي تقارن بدورها مع الإشارة الثانية  $d(n)$  والتي تسمى إشارة الاستجابة المرغوبة، وهي عبارة عن إشارة المعلومات الأصلية مضافاً إليها الضجيج، وذلك بطرح العينتين عند اللحظة  $n$  وبالتالي تعطى إشارة الفرق بالعلاقة:

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (2-1)$$

وتسمى  $e(n)$  بإشارة الخطأ، والتي تغذي عكسياً بدورها المرشح المتكيف لتغيير بارامترات المرشح من اللحظة  $n$  إلى اللحظة  $n+1$  مما يجعل خرج المرشح أفضل فأفضل، إذ إنه في البداية لا يتبع خرج المرشح الإشارة المطلوبة، وتكون قيمة الخطأ عالية أيضاً، ولكن بعد فترة زمنية معينة يتكيف



المرشح ويتبع خرج الإشارة المطلوبة تقريباً، ومن ثم تنخفض قيمة الخطأ إلى قيمة منخفضة جداً، حيث يشير التكيف في نظام الترشيح المتكيف إلى الطريقة التي تتغير من خلالها البارامترات من اللحظة  $n$  إلى اللحظة  $n+1$ .



الشكل (2-1): الشكل العام للترشيح المتكيف.

يحدث التكيف عادة عندما تكون  $d(n)$  متاحة فقط، ولكن توجد بعض الحالات التي لا تتوفر فيها  $d(n)$  في جميع الأوقات لذلك يستخدم عندها أحدث تقدير للبارامترات لحساب  $y(n)$  في محاولة لتقدير إشارة الاستجابة المرغوبة  $d(n)$ ، كما توجد حالات أخرى تكون فيها  $d(n)$  غير متوفرة أبداً؛ لذلك يمكن عندها استخدام معلومات إضافية عن خصائص  $d(n)$  الافتراضية، كالسلوك الإحصائي المتوقع أو خصائص المطال للحصول على تقديرات مناسبة لـ  $d(n)$  من خلال الإشارات المتاحة للمرشح المتكيف، وتدعى هذه الأساليب بخوارزميات التكيف الأعمى.

## 6.2. بنية المرشح المتكيف:

يستند هذا التصنيف للمرشحات الرقمية على طول الاستجابة النبضية لها وتنقسم إلى:

### 1.6.2. المرشح المتكيف ذو الاستجابة النبضية محدودة المدة (FIR: Finite-duration Impulse Response)

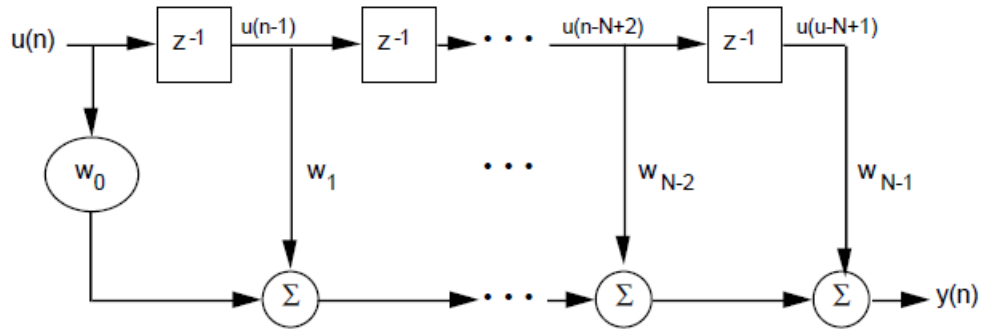
يتميز مرشح FIR باستجابة نبضية محدودة المدة ذات قيمة مساوية للصفر خارج بعض الفترات الزمنية المحدودة، كما أنّ هذه الاستجابة النبضية تكون مساوية لمركبات المرشح (طول المرشح) في هذه البنية؛ لذلك تكون ذاكرته محدودة بطول  $N$  عينة، وتتميز هذه المرشحات بأنها غير تكرارية بطبيعتها وتوجد ثلاث بنى أساسية لتحقيق مرشح FIR هي:

#### 1.1.6.2. مرشح FIR ذو البنية المستعرضة:

يظهر الشكل (2-2) بنية مرشح FIR المستعرض ذي  $N$  نقطة تفرع للأوزان (كما يعرف بمرشح خط التأخير في نقاط التفرع)، حيث تشير  $Z^{-1}$  إلى وحدة عنصر التأخير وكل  $w_i(n)$  هي نموذج مضاعف للربح في النظام، وفي هذه الحالة ترتبط البارامترات في  $W(n)$  مع قيم الاستجابة النبضية للمرشح عند اللحظة  $n$ ، ويمكن أن تحسب إشارة الخرج  $y(n)$  كمجموع خطي لتسلسل عينات إشارة الدخّل وأوزان نقط التفرع على الشكل الآتي:

$$\begin{aligned} y(n) &= \sum_{i=0}^{N-1} w_i(n) u(n-i) \\ &= W^T(n) U(n) \end{aligned} \quad (2-2)$$

تشير  $U(n) = [u(n)u(n-1) \dots u(n-L+1)]^T$  إلى شعاع دخل نقاط التفرع، والذي يتألف من عينات الدّخل المتأخّرة، ويشير  $W(n) = [w_0(n)w_1(n) \dots w_{N-1}(n)]^T$  إلى شعاع أوزان نقاط التفرع (طول المرشّح)، وهو عبارة عن مجموعة من مركّبات المرشّح عددها  $N$  أو كما يشار إليها بالاستجابة النبضية للمرشّح، و  $n$  إلى الترتيب الزمّني، و  $N$  إلى رتبة المرشّح (طول المرشّح) المساوي لعدد مركّبات المرشّح؛ إذ إنّ زيادة رتبة المرشّح تؤدي إلى زيادة استخدام المضاعفات، والإضافات في العيّنة الواحدة، كما تشير  $T$  إلى المنقول؛ فطالما أنّ كلّاً من الشعاعين  $U(n)$  و  $W(n)$  هما عبارة عن مصفوفة سطريّة، ولهما نفس الحجم (عدد العينات في شعاع الدّخل هو نفسه في شعاع الوزن)، فإنّه لضرب المصفوفتين يجب أخذ منقول أحدهما، بحيث يصبح أحدهما شعاع صف والآخر عمود، ونلاحظ من العلاقة (2-2) أنّ الخرج يعتمد فقط على تسلسل عينات الدّخل المتأخّرة، ولا يتأثّر بتسلسل الخرج، وهذا يعني أنّه لا توجد آليّة للتغذية العكسيّة في التصميم إنّما يوجد طريق أمامي فقط، ولأنّ هذا النّوع من المرشّحات ذو مدّة محدودة وغير متكرّر فإنّنا نشير إليه بأنّه ذو استجابة نبضيّة محدودة المدّة.



الشكل (2-2): مرشّح FIR ذو البنية المستعرضة.

كما تتطلّب هذه البنية مضاعفات عدد  $N$  و  $N-1$  تضاف إلى التّنفيد لذلك تتجزّ هذه الحسابات بسهولة عن طريق معالج أو دائرة، طالما أنّ  $N$  ليس كبيراً، وأنّ فترة أخذ العينات من الإشارة ليست قصيرة جداً، وهذا يتطلب مجموعة مكوّنة من موقعي ذاكرة  $2N$ ؛ الأولى لحفظ عينات إشارة الدّخل والثانية لحفظ قيم المركّبات.

#### 2.1.6.2. مرشّح FIR ذو البنية المستعرضة المتناظرة:

إنّ خصائص استجابة الطّور الخطيّة للمرشّح تكون مرغوبة في بعض الأوقات؛ لأنّها تسمح للنّظام بأن يرفض، أو يشكّل حزم الطّاقة في الطيف؛ ممّا يبقيه محافظاً على سلامة النبضة الأساسيّة مع مجموعة تأخير المرشّح الثّابتة.

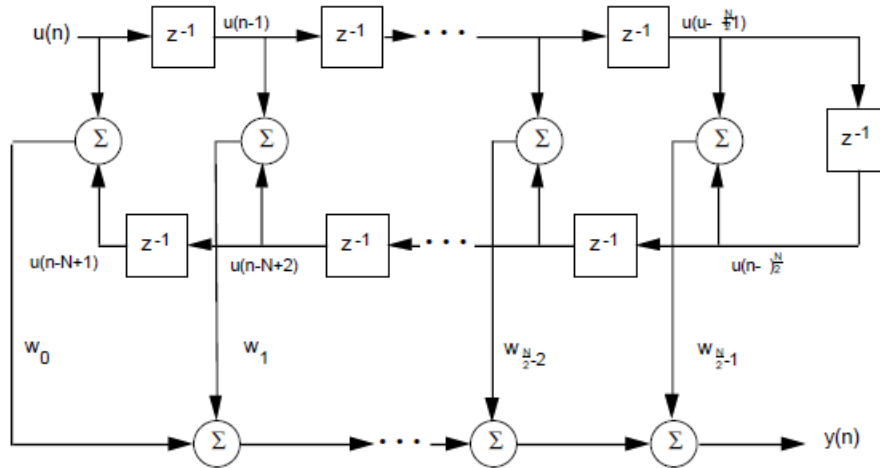
وبملاك مرشّح FIR ذو المجال الزمّني المتناظر ( $w_0(n) = w_{N-1}(n)$ )، وبالتّالي يتمّ تخفيض عدد الأوزان إلى  $w_{N-2}(n)$  استجابة طوريّة خطيّة في المجال الترددي، وبالتّالي يتمّ تخفيض عدد الأوزان إلى

النصف عمّا كان عليه في البنية المستعرضة كما هو موضح في الشكل (2-3)، حيث  $N$  عدد زوجي يشير إلى أوزان نقاط التفرع، ويعطى شعاع دخل نقاط التفرع كما يلي:

$$u(n) = [u(n) + u(n - N + 1), u(n - 1) + u(n - N + 2), \dots, u(n - N/2 + 1) + u(n - N/2)]^T \quad (2-3)$$

وبالنّتيجة يعطى خرج المرشح  $y(n)$  :

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N/2} w_i(n)[u(n - i) + u(n - N + 1 + i)] \quad (2-4)$$



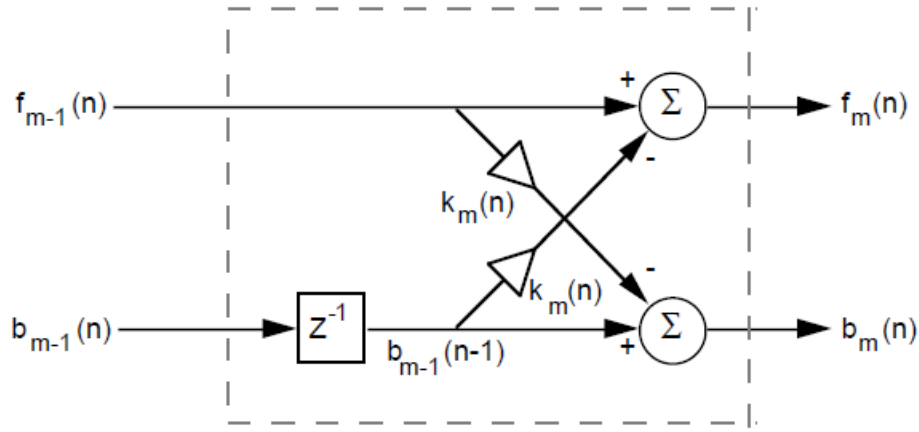
الشكل (2-3): مرشح FIR ذو البنية المستعرضة المتناظرة.

### 3.1.6.2 مرشح FIR ذو البنية الشبكية:

البنية الثالثة من بنى مرشح FIR التي أثبتت فائدتها في مهام الترشيح المتكيف هي المرشح الشبكي الذي يتمتع ببنية معيارية مع مراحل متطابقة متتالية؛ إذ إنه يستخدم  $N-1$  مرحلة معالجة لحساب مجموعة الإشارات المساعدة  $\{b_m(n) : 0 \leq m \leq N-1\}$  التي تعرف بأخطاء التنبؤ العكسية، وتمتلك هذه الإشارات خاصية أنها غير مترابطة وتمثل عناصر  $U(n)$  عبر تحويل خطي، ولهذا يمكن أن تستخدم أخطاء التنبؤ العكسية هذه مكان إشارات الدّخل المتأخّرة، كما هو موضح في الشكل (2-4) الذي يظهر مرحلة واحدة من بنية مرشح FIR الشبكية، وإنّ الطبيعة غير المترابطة لأخطاء التنبؤ يمكن أن توفر تحسّناً للأداء المتقارب لمركّبات المرشح المتكيف مع الخوارزمية المختارة المناسبة، بالإضافة إلى ذلك تملك هذه البنية العديد من المزايا مقارنة مع البنية المستعرضة من أهمّها:

- تملك البنية الشبكية خصائص تقريب عددي جيّدة تجعلها أقل حساسية من البنية المستعرضة لأخطاء التقريب وتغيّر البارامترات.
- كما أنّها بنية سهلة التطوير والبرمجة كإجراء تكراري لتصميم مرشح فعال للغاية.

- تتعتمد البنية الشبكية مع إشارة الدّخل عند كل مرحلة، وهذا يؤدي إلى التقارب السريع وقدرات الملاحقة الفعّالة عند استخدامها في البيئة المتكيفة.
  - يتم فصل المراحل المختلفة بعضها عن بعض، بحيث يكون من السهل نسبياً زيادة رتبة التنبؤ إذا لزم الأمر.
  - يمكن تفسير البنية الشبكية (التنبؤية) كانتشار موجة وسط طبقة، وهذا يمكن أن يمثل نموذج أنبوب صوتي لقناة صوتية بشرية، ويعدّ هذا الأمر مفيداً للغاية في المعالجة الرقمية لإشارات الكلام.
- ومع ذلك، تأتي هذه المزايا على حساب زيادة عدد عمليات الضرب والجمع لتحقيق تابع النقل المحدد.



الشكل (2-4): مرشح FIR ذو البنية الشبكية.

تمثل المعادلات الآتية ديناميكية المرحلة ذات الترتيب  $m$  للبنية الشبكية ذات الرتبة  $M$  والموضحة في الشكل السابق:

$$f_m(n) = f_{m-1}(n) - K_m(n)b_{m-1}(n-1), 0 < m < M \quad (2-5)$$

$$b_m(n) = b_{m-1}(n-1)K_m(n)f_{m-1}(n), 0 < m < M$$

تمثل  $f_m(n)$  : خطأ التنبؤ الأمامي،  $b_m(n)$  : خطأ التنبؤ العكسي،  $K_m(n)$  : معامل الانعكاس ويأخذ قيمة أقل من 1،  $m$  : ترتيب المرحلة،  $M$  : عدد المراحل التتابعية، وتكون الشروط الابتدائية  $f_0(n) = b_0(n) = u(n)$  حيث  $u(n)$  هي إشارة الدّخل.

يتم تحليل الكلام عادةً باستخدام البنية الشبكية ومعاملات الانعكاس  $K_m(n)$ ، ونظراً لكون المجال الديناميكي لـ  $K_m(n)$  أصغر بكثير من أوزان نقاط التفرع  $w(n)$  للمرشح المستعرض، فإنّ معاملات الانعكاس تتطلب عدداً أقل من البتات لتمثيلها، وثمّ يتم إرسال  $K_m(n)$  عبر القناة.

## 2.6.2. المرشح المتكيف ذو الاستجابة النبضية غير محدودة المدة (IIR: Infinite-duration Impulse Response)

يظهر الشكل (2-5) بنية مرشح IIR الذي يعرف بالمرشح المتكيف العودي؛ إذ يتغير فيه الخرج بالاعتماد على كل من عينات الدّخل والخرج السابقة باستخدام آلية التغذية العكسية، وتحسب إشارة الخرج للنظام رياضياً كما يلي:

$$y(n) = \sum_{i=0}^N a_i(n)y(n-i) + \sum_{j=0}^N b_j(n)x(n-j) \quad (2-6)$$

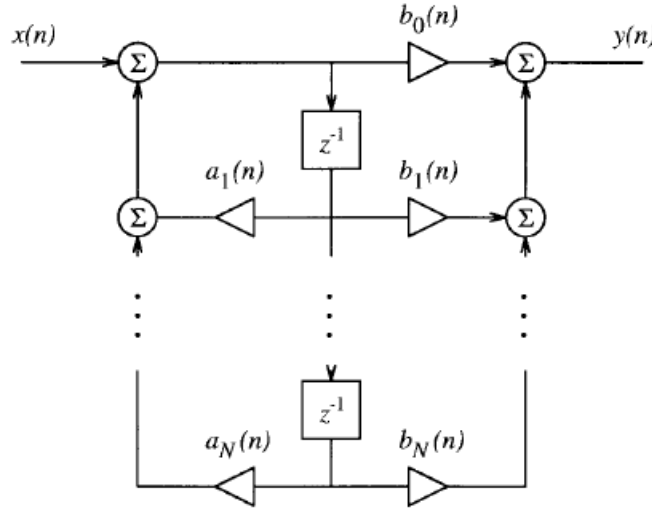
$a_i(n)$  و  $b_j(n)$  هي المركبات الأمامية والعكسية للمرشح على الترتيب،  $x(n)$  و  $y(n)$  هي دخل وخرج المرشح على الترتيب،  $N$  هي عدد مركبات كل من البسط والمقام، يمكن أن نكتب العلاقة (2-6) بسهولة باستخدام الرموز الشعاعية كما يلي:

$$y(n) = W^T(n)U(n) \quad (2-7)$$

حيث  $(2N+1)$  هي أبعاد الأشعة  $W(n)$  و  $U(n)$  التي تعرّف كما يلي:

$$W(n) = [a_1(n)a_2(n) \dots a_N(n)b_0(n)b_1(n) \dots b_N(n)]^T \quad (2-8)$$

$$U(n) = [y(n-1)y(n-2) \dots y(n-N)x(n)x(n-1) \dots x(n-N)]^T$$



الشكل (2-5): بنية مرشح IIR.

لهذا الغرض، ومن أجل حساب إشارة الخرج  $y(n)$  فإن بنية مرشحات IIR تتضمن عدداً ثابتاً من عمليات الضرب والجمع كما أنّ مواقع الذاكرة فيها لا تختلف عن بنية مرشح FIR، ففي كلا المرشحين يتم الحصول على خرج المرشح كتابع خطّي للإشارة المطبقة على الدّخل. تتميز مرشحات IIR برتبة تابع النقل المنخفضة، وباستخدام عدد أقل من المركبات لتحقيق الأداء المرغوب، بالإضافة إلى تأخير نقل أقصر عند معالجة العينات، وهذا يمكنها من ردّة فعل أسرع مع تغييرات إشارة الدّخل، كما أنّها تتميز بتطلبها مساحة أقل من الذاكرة لتخزين المركبات،

ومتغيرات الحالة مما يخفف من التعقيد الحسابي؛ لذلك يمكن استخدامها عندما يكون التعقيد الحسابي معياراً مهماً في تصميم النظام، لكنها تعاني من وجود حلقات التغذية العكسية؛ مما يسبب تضخيم الأخطاء (الضجيج) الناتجة عن تكميم الإشارة، ومن الممكن أن يولد ذلك ذبذبة تلقائية غير مرغوب بها، كما تسبب بنية التغذية العكسية هذه الحساسية العالية للتغير في المركبات جاعلة هذا الصنف من المرشحات غير مستقر في تطبيقات محددة.

بما أن مرشحات FIR المتكيفة تملك أصفاراً فقط قابلة للضبط، فهي لذلك خالية من مشاكل الاستقرار التي تعاني منها مرشحات IIR التي تملك أصفاراً وأقطاباً قابلة للضبط، بالإضافة إلى أن استقرار الدّخل - الخرج في بنية مرشحات FIR يكون مضموناً من أجل أية مجموعة من المركبات الثابتة، على عكس مرشحات IIR التي تتقارب إلى الحل المثالي بشكل أسرع من مرشحات FIR، ومع ذلك فإنها تعاني من بطء التقارب، والتصميم الناتج قد لا يكون مستقرًا؛ فقد تتقارب خوارزمية IIR إلى القيمة الصغرى المحلية بدلاً من القيمة الصغرى النهائية الموافقة لمركبات المرشح المثالية، كما أن الخوارزميات المستخدمة في مرشحات FIR لضبط مركباتها أكثر بساطة بشكل عام من تلك المستخدمة لضبط مركبات مرشحات IIR، وهذا ما يجعل مرشحات FIR المتكيفة أكثر شهرة، وأوسع استخداماً من مرشحات IIR المتكيفة.

ويعدّ التعقيد الحسابي إحدى المسائل الحاسمة في اختيار بنية المرشح المتكيف، وطالما أن المرشح المتكيف يعمل في الزمن الحقيقي فإن جميع حسابات النظام يجب أن تحدث خلال زمن عينة واحدة، وإن جميع البنى الموصوفة أعلاه مفيدة لأن  $y(n)$  يتم حسابها في فترة زمنية محدودة باستخدام عمليات حسابية بسيطة، وحيز محدود من الذاكرة [40].

## 7.2. المرشحات الرقمية:

المرشح الرقمي هو المرشح الذي يعالج الإشارات المنقطعة زمنياً، والممثلة في الشكل الرقمي وهو إجرائية عددية أو خوارزمية تحوّل تسلسلاً معيناً من الأرقام إلى تسلسلٍ ثانٍ له بعض الخصائص المرغوبة كالضجيج أو التشويه الأقل، لذلك تُعنى معالجة الإشارة الرقمية DPS بالجوانب النظرية والعملية لتمثيل الإشارات الحاملة للمعلومات بشكل رقمي، كما تتضمن استخدام الحواسيب أو التجهيزات الرقمية إما لاستخراج المعلومات أو لتحويل الإشارات إلى نماذج مفيدة، ولتحقيق ذلك تبقى المرشحات الرقمية بمنزلة العمود الفقري لمعالجة الإشارات الرقمية، إذ إن الغرض من هذه المرشحات فصل الإشارات التي تم دمجها، واستعادة الإشارات التي كانت قد تشوّهت بطريقة ما؛ إذ يلزم فصل الإشارة عندما تُدمج مع التداخل أو التشويش أو إشارات أخرى، بينما يتم استخدام الاستعادة عندما تشوّه هذه الإشارة بطريقة ما، وتستخدم المرشحات الرقمية على نطاق واسع في

معالجة الإشارة الرقمية في الزمن الحقيقي، وتطبيقات الاتصالات والشبكات، وتتميز بمجموعة من المركبات، كما تصنف بشكل عام إلى مرشحات وينر ومرشحات كالمان [41].

### 1.7.2. مرشح وينر:

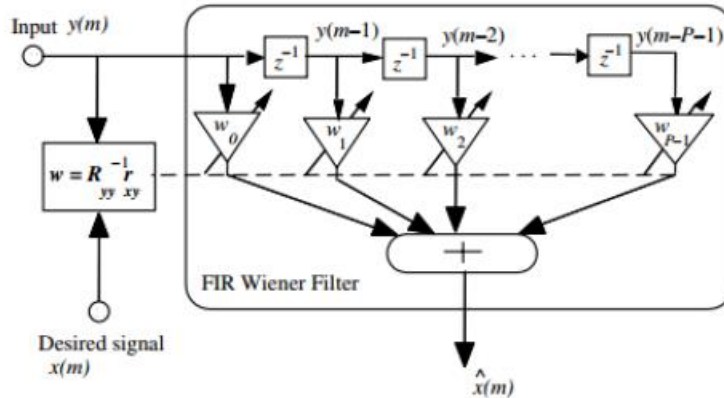
مرشح وينر هو مرشح رقمي تم تصميمه لتخفيض القيمة المتوسطة لمربع الفرق بين الإشارة الأصلية المرسل والمرشح، ويسمى أحياناً مرشح القيمة المتوسطة الصغرى لمربع الخطأ، يمكن أن يكون هذا المرشح ذا استجابة نبضية محدودة المدة (FIR)، أو ذا استجابة نبضية غير محدودة المدة (IIR)، وبشكل عام ينتج عن تشكيل مرشح وينر من نوع FIR مجموعة من المعادلات الخطية التي لها حلول، بينما ينتج عن تشكيله من نوع IIR مجموعة من المعادلات غير الخطية. يمثل مرشح وينر المبين في الشكل (2-6) بشعاع المركبة  $w$ ، ويوافق المرشح إشارة الدخل  $y(m)$  ويولد إشارة الخرج  $\hat{x}(m)$  وهي القيمة المتوسطة الصغرى لمربع خطأ تقدير إشارة الهدف  $x(m)$ ، وتعطى العلاقة بين دخل وخرج المرشح كما يلي:

$$\begin{aligned} x(m) &= \sum_{k=0}^{p-1} w_k y(m-k) \\ &= w^T y \end{aligned} \quad (2-9)$$

حيث  $m$ : هي دليل الزمن المنقطع.

$y^T = [y(m), y(m-1), \dots, y(m-P-1)]$ : هي إشارة دخل المرشح.

أما الشعاع  $w^T = [w^0, w^1, \dots, w^{P-1}]$ : فهو شعاع مركبة مرشح وينر.



الشكل (2-6): توضيح لبنية مرشح وينر.

### 2.7.2. مرشح كالمان:

يمكن تعريف مرشح كالمان بأنه تطبيق مجموعة من العلاقات الرياضية لتقدير نوع التصحيح المتوقع الذي يعدّ مثاليّاً في الحساس عندما يعمل على تخفيض خطأ التباين المقدّر عند تحقق بعض الشروط المفروضة، ولقد كان مرشح كالمان على مدى العقد الماضي مجالاً نشطاً للبحث والتطبيق، كما أنّه واحد من أكثر خوارزميات دمج البيانات شعبية في مجال معالجة المعلومات.

## 8.2. تطبيقات المرشحات المتكيفة:

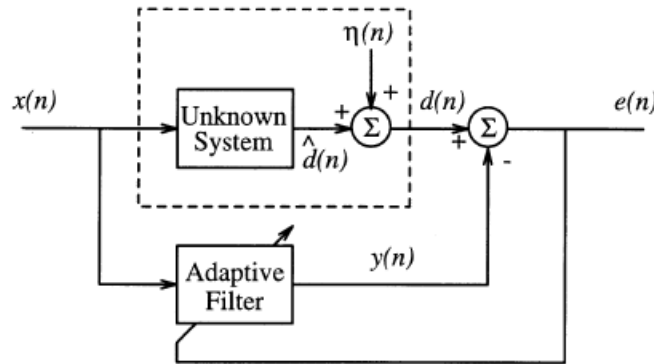
تستخدم المرشحات المتكيفة على نحو واسع في الاتصالات السلكية واللاسلكية وأنظمة التحكم والزادار، والأنظمة الأخرى التي يتوافر فيها الحد الأدنى من المعلومات حول الإشارة الواردة؛ إذ تتميز بقدرتها على التكيف مع البيئة غير المعروفة وقدرتها على ملاحقة التغيرات الزمنية لإحصائيات الدّخل وتكلفتها المنخفضة (تكلفة المكونات المادية للتنفيذ مقارنة مع المرشحات غير المتكيفة التي تعمل في النظام نفسه)، مما جعل من المرشح المتكيف جهازاً قوياً لمعالجة الإشارات وتطبيقات التحكم.

وإنّ العديد من تطبيقات المرشحات المتكيفة التي سنتطرق لها تعتمد على بنية مرشح FIR ومن أهمّها:

### 1.8.2. تحديد هوية النظام (النموذج الرياضي):

يدلّ الصندوق المنقّط الذي يظهر في الشكل (2-7) أنّ الكمّيات الداخلة إليه لا يمكن ملاحظتها في الخرج، ويوجد بداخله نظام مجهول يمثل العلاقة العامة بين الدّخل والخرج، كما يحوي الإشارة  $\eta(n)$  والتي تسمى إشارة الضجيج الملاحظ لأنّها تفسد الملاحظات حول الإشارة على خرج النظام المجهول، نفرض أنّ الإشارة  $\hat{d}(n)$  تعبّر عن خرج النظام المجهول على اعتبار أنّ دخله هو الإشارة  $x(n)$  التي تغذي كلاً من النظام المجهول والمرشح المتكيف معاً، وبالتالي تعطى إشارة الاستجابة المرغوبة في هذا النظام بالعلاقة:

$$d(n) = \hat{d}(n) + \eta(n) \quad (2-10)$$



الشكل (2-7): تحديد هوية النظام.

وتكمن مهمة المرشح المتكيف في التمثيل الدقيق للإشارة  $\hat{d}(n)$  والتي تعبّر عن خرج النظام المجهول حيث تتم مقارنة إشارة خرج المرشح المتكيف  $y(n)$  مع إشارة خرج النظام المجهول  $\hat{d}(n)$  لإنتاج إشارة الخطأ المقدّر  $e(n)$  التي تمثل الفرق بينهما وتذهب إلى المرشح المتكيف كتغذية عكسية، ويقوم المرشح بضبط المركبات حتّى تصبح إشارة الخطأ عند الحد الأدنى، ويُقال أنّ النظام المجهول قد تمت نمذجته عندما انخفضت إشارة الخطأ إلى القيمة الصغرى، وبالتالي



إذا كان  $y(n) = d^{\wedge}(n)$  فعندها يحدّد المرشّح المتكّيّف بدقّة هوية هذا الجزء غير المعروف من النّظام والذي يُقاد بالإشارة  $x(n)$ .

نظراً لكون النّموذج المختار للمرشّح المتكّيّف عادة مرشّحاً خطيّاً فإنّ الهدف العملي للمرشّح المتكّيّف هو تحديد النّموذج الخطّي الأفضل الذي يصف العلاقة بين دخل وخرج النّظام المجهول، ويمثّل هذا الإجراء الخيار الأفضل عندما يكون النّظام المجهول نموذجاً خطيّاً أيضاً من نفس بنية المرشّح المتكّيّف، بحيث يمكن أن يكون  $y(n) = d^{\wedge}(n)$  من أجل بعض بارامترات المرشّح المتكّيّف، ولسهولة المناقشة نجعل كلاً من النّظام المجهول والمرشّح المتكّيّف مرشّحات من نوع FIR بحيث يكون:

$$d(n) = W_{opt}^T(n)X(n) + \eta(n) \quad (2-11)$$

حيث  $W_{opt}^T(n)$  : هي المجموعة الأمثل لمركبات المرشّح من أجل النّظام المجهول عند اللّحظة  $n$  ، وعند حدوث التّكيف المثالي سيتمّ ضبط  $W(n)$  بحيث يكون  $W(n) = W_{opt}(n)$  عندما  $n \rightarrow \infty$  ، وعملياً يمكن للمرشّح المتكّيّف أن يضبط  $W(n)$  فقط عندما تقترب  $y(n)$  كثيراً من  $d^{\wedge}(n)$  بعد مرور الوقت.

نستنتج ممّا سبق أنّ تحديد هوية النّظام تعرّف بأنّها قدرة النّظام المتكّيّف على تقدير بارامترات النّظام المجهول والتنبؤ بمرشّح FIR الذي سيعيد إنتاج استجابة النّظام الآخر على نحو أفضل، وتكون هذه الطّريقة فعّالة فقط عندما تكون الاستجابة التّردّدية للنّظام الجديد متوافقة مع مرشّح FIR إذ أنّ الاستجابة التّردّدية لمرشّح FIR هي أفضل تقدير تقريبي للنّظام المجهول ولا تتساوى تماماً معه [42].

## 2.8.2. تحديد هوية القناة:

يتم إرسال المعلومات المفيدة في نظام الاتّصالات من مكان لآخر عبر وسط الاتّصال مثل سلك كهربائي، ليف ضوئي أو وسط اتّصال راديوي لاسلكي، ممّا يعرّض الإشارات المرسلّة عبر وسط الاتّصال هذا إلى التّشوّه بسبب تأثير المسارات المتعدّدة أو محدوديّة عرض الحزمة أو وجود عيوب ونقص في خصائص القناة ممّا يجعل فك رموز المعلومات المستقبلّة صعباً، لذلك يستخدم المرشّح المتكّيّف كمعدّل ويقوم بضبط بارامتراته بشكل آلي ليتكّيّف مع تغيّر خصائص القناة من أجل تعويض تشنّت القناة والتّشوّه الناتج عن وسط النّقل ممّا يؤدّي إلى القضاء على التّداخل وتحسين جودة الاتّصال، وفي مثل هذه الحالات يمكن أن تُمثّل آثار التّشوّه كمرشّح خطّي ويعرّف التّشوّه الناتج للرموز المرسلّة بتداخل الرّموز (ISI: Inter-symbol interference)، وبالتالي يستخدم المرشّح المتكّيّف لينمذج آثار قناة ISI من أجل فك رموز المعلومات المستقبلّة بالطّريقة المثلّي حيث يقوم المرسل بإرسال سلسلة عينات اختبار  $x(n)$  والتي تكون معروفة عند كل من

المستقبل والمرسل من خلال توليد صيغة تزامن لإشارة الاختبار في المستقبل، الذي يحاول بدوره أن يضع نموذجاً للإشارة المستقبلية  $d(n)$  باستخدام المرشح المتكيف والذي دخله عبارة عن تتابع الإرسال المعروف  $x(n)$ ، ثم يطرح الخرج المعدل  $y(n)$  من إشارة الاستجابة المرغوبة  $d(n)$  لإنتاج إشارة الخطأ التي تستخدم بدورها للضبط المتكيف لبارامترات المرشح إلى قيمها المثالية، وبعد فترة من التكيف فإن بارامترات المرشح المتكيف في  $W(n)$  تبقى ثابتة ثم تستخدم لفك شيفرة الإشارة المستقبلية المرسله عبر القناة، وإن تحديد هوية القناة هذا يعمل عادةً عندما تكون قناة النقل معرضة بشدة للخطر أو عندما لا يمكن استخدام التقنيات الأبسط لكشف التتابع.

### 3.8.2. تحديد هوية المصنع:

تتطلب العديد من مهام التحكم إشارة التحقق لتابع النقل للمصنع الخطي عن طريق التحكم الفيزيائي حتى يتم تطبيق إشارة التحكم المناسبة، وفي مثل هذه الحالات يمكن أن نوجد تابع النقل للمصنع عن طريق إثارته بإشارة معروفة  $x(n)$  ثم محاولة وصل خرج المصنع  $d(n)$  مع المرشح الخطي المتكيف، وبعد فترة مناسبة من التكيف فإن النظام ينمذج بشكل مناسب، ومركبات المرشح المتكيف الناتجة في  $W(n)$  يمكن أن تُستخدم في مخطط التحكم لتسمح لنظام الحلقة المغلقة الكامل بأن يعمل بالطريقة المرغوبة، في بعض الحالات تكون التحديثات المستمرة لتقدير تابع نقل المصنع المزودة عن طريق  $W(n)$  ضرورية من أجل السماح للمتحكم بالعمل بالشكل الصحيح.

### 4.8.2. إلغاء الصدى من أجل النقل لمسافات طويلة:

يستخدم في الشبكات الهاتفية جهاز هجين يدعى hybrid لتأمين عملية النقل المزدوج الكامل وقنوات الإرسال والاستقبال بين سلكي خطين هاتفين، وبالتالي فإن عدم تطابق المقاومة الصّغير بين خطوط المسافة الطويلة والنقاطات الهجينة سوف يجعل هذه النقاطات تعكس الإشارات المرسله للوراء إلى مصادرها، كما أن فترات الإرسال الطويلة على الشبكات ذات المسافات الطويلة تكون بحدود 0.3 ثانية عبر المحيطات عن طريق وصلة القمر الصناعي؛ لذلك تتحول هذه الانعكاسات إلى صدى ملحوظ مما يجعل المحادثة صعبة الفهم لكلا الطرفين، ويُعرف الصدى بأنه النسخة المتأخرة أو المترددة من الإشارة الأصلية التي تعود إلى المصدر بعد الانعكاسات المتتالية من المحيط، وكان الحل التقليدي لهذه المشكلة قبل ظهور المرشح المتكيف إدخال خسارة كبيرة إلى شبكة المسافات الطويلة بحيث يضمحل الصدى إلى مستوى مقبول قبل أن يصبح ملموساً لدى المتصلين، ولكن من ناحية أخرى فإن هذا الحل ينقص جودة الإرسال للوصلة الهاتفية ويجعل الاتصال لمسافات طويلة أكثر صعوبة، لذلك يمكن أن يستخدم المرشح المتكيف لإلغاء الصدى الذي تسببه هذه النقاطات الهجينة، حيث يتم وضعه عند كل طرف من النقاط الهجين في الشبكة، وبالتالي تكون إشارة الدخل  $x(n)$  لكل مرشح متكيف هي إشارة الكلام المستقبلية مسبقاً عند النقاط الهجين، أما إشارة الاستجابة المرغوبة  $d(n)$  فهي الإشارة المرسله خارجاً خلال النقاط

الهجين عبر الاتصال بعيد المدى، لذلك يتحقق الإلغاء عن طريق إجراء تقدير لمكونات إشارة الصدى باستخدام إشارة الدّخل  $x(n)$  ومن ثمّ طرح هذا التّقدير  $y(n)$  من إشارة الاستجابة المرغوبة  $d(n)$ ، أي يحاول المرشّح المتكّيف أن ينمذج خصائص الإرسال للتّقاطع الهجين بشكل جيّد عند ظهور أي صدى عبر أي جزء من الشّبكة ذات المسافة الطويلة، وبالنتيجة عندما يصمّم النّظام على نحو سليم فإنّ إشارة الخطأ  $e(n)$  ستحتوي بشكل كامل تقريباً إشارة كلام المتحدث المحليّة والتي تنقل بدورها فيما بعد عبر الشّبكة.

### 5.8.2. إلغاء الصّدى الصّوتي:

هذه المشكلة مرافقة لإلغاء الصّدى من أجل أنظمة الإرسال الهاتفية البعيدة وخاصة إلغاء الصّدى الصّوتي في مكبّرات الصّوت أثناء المؤتمرات عن بعد، ويمثّل الصّدى نوعاً خاصاً من الضّجيج المضاف الذي يتميّز بخصائص تشبه الكلام، ويحدث عند تداخل الإشارة المرسلّة والمستقبلة أثناء المحادثة بسبب وجود المكروفون ومكبّر الصّوت في البيئة نفسها، إذ تمر الإشارة المستقبلة عبر منفذ مكبّر الصّوت ثمّ تلتقط هذه الإشارة الصّوتية المنعكسة عن المحيط الفيزيائي بوساطة المكروفون، ويسبّب هذا الانعكاس للإشارة الصّوتية تأخيراً زمنياً، ويؤثّر في الإشارة الصّوتية الأصليّة التي تؤدي إلى جودة تحدّث منخفضة، وإذا لم يتم تطبيق أي عمليّة ترشيح فإنّ الإشارات المرسلّة إلى التّغذية العكسيّة الصّوتية بين مكبّر الصّوت والمكروفون ستجعل الأشخاص يسمعون صدىً، وفي الحالات الأسوأ ستضخّم هذه الإشارة ممّا يجعل الأمر مزعجاً، ولأنّ إشارات الصّدى الصّوتي والطّرق التي تسلكها تتغيّر نتيجة لعدّة ظروف (مثل أبعاد الغرفة ودرجة الحرارة والضغط وكذلك المسافة بين مكبّر الصّوت والمكروفون)؛ لذلك يعدّ المرشّح المتكّيف أفضل الحلول للقيام بعملية الإلغاء؛ إذ إنّ الغرض الرّئيس في نظام الإلغاء هو إنتاج نسخة طبق الأصل من إشارة الصّدى وطرحها من الإشارة المشوّشة لتوفير إشارة صوتيّة واضحة بين الجانبين، وبالتالي الحفاظ على النّقل المزدوج الكامل. ولتحقيق ذلك يتمّ وضع لاغي الصّدى الصّوتي في مكبّر الصّوت لينمذج مسار النّقل الصّوتي من مكبّر الصّوت إلى المكروفون، وإنّ إشارة الدّخل  $x(n)$  للاغي الصّدى الصّوتي هي الإشارة المرسلّة إلى مكبّر الصّوت أما إشارة الاستجابة المرغوبة  $d(n)$  فتقاس عند المكروفون على الجهاز، ويكون الخرج المثالي نفسه عبارة عن إشارة ذات صدى لكن تفوق دقّتها إشارة الصّدى غير المرغوبة، ثمّ تستخدم هذه الإشارة لتخفيض الصّدى في إشارة العودة، ويتكيّف النّظام باستمرار عن طريق المكالمة الهاتفية لينمذج أي تغيّرات فيزيائيّة في صوتيات الغرفة.

### 6.8.2. الإلغاء المتكّيف للضّجيج:

تمتّز عادة إشارة المعلومات المفيدة خطياً مع أنواع ضجيج خارجيّة أثناء عمليّة القياس، وبالتالي يدخل هذا الضّجيج الخارجي أخطاء غير مقبولة، ولكن إذا كانت النّسخة المرجعيّة مرتبطة

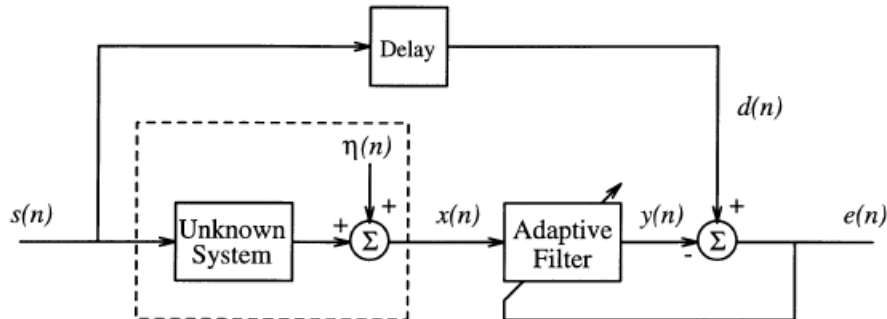
خطياً مع أحد أنواع هذا الضجيج الخارجي فيمكن تحسّس الإشارة بشكل نظيف في موقع فيزيائي آخر في النظام، لذلك يمكن أن يستخدم المرشّح المتكيف ليحدد العلاقة بين الضجيج المرجعي  $x(n)$  ومكوّن هذا الضجيج المحتوي في الإشارة المقاسة  $d(n)$ ، وبعد الطّرح المتكيف لهذا المكوّن تبقى الإشارة المفيدة فقط في  $e(n)$ ، وإذا كان لدينا العديد من إشارات الضجيج الخارجية التي تفسد الإشارة المفيدة فعندئذ تستخدم عدّة مرشّحات متكيفة بشكل متوازٍ، بحيث تكون إشارات الضجيج المرجعية المناسبة موجودة في النظام. ويمكن أن يستخدم الإلغاء المتكيف للضجيج في العديد من التطبيقات، منها التطبيقات الطبية كخطيط الدماغ الكهربائي وتخطيط قلب الجنين.

## 7.8.2. النموذج العكسي:

يشير النموذج العكسي إلى عملية إزالة التأثيرات غير المرغوبة للوسط أو بعض الأجهزة على الإشارة، وذلك عن طريق اكتشاف تابع النقل العكسي للنظام وملاحقته، وكما يظهر في المخطط الموضّح في الشكل (2-8) أنّ النظام غير المعروف والمرشّح المتكيف يتم وصلهما على التسلسل. وكما هو موضّح فإن إشارة المصدر  $s(n)$  تغذي النظام غير المعروف، والذي يعطي في خرجه إشارة الدّخل للمرشّح المتكيف  $x(n)$  ومن ثم تطرح إشارة خرج المرشّح المتكيف من إشارة الاستجابة المرغوبة والتي هي عبارة عن نسخة مؤخّرة من إشارة الدّخل بحيث يكون:

$$d(n) = s(n - \Delta) \quad (2-12)$$

حيث  $\Delta$  : عدد صحيح موجب، وتعطي عملية الطّرح هذه إشارة الخطأ  $e(n)$  التي تستخدم لضبط أوزان المرشّح، وإنّ هدف المرشّح المتكيف هو ضبط خصائصه بحيث تكون إشارة الخرج ذات تمثيل دقيق لإشارة المصدر المتأخّرة، كما يهدف هذا النموذج العكسي إلى تخفيض الخطأ كما في النماذج السابقة، ويستخدم في العديد من تطبيقات التّرشّيح المتكيف مثل: ترميز القناة ونموذج المصنع العكسي وكمعدّل ذي تابع نقل عكسي للقناة لتعويض تشوّه القناة عند إرسال البيانات ذات السرعة العالية في قنوات الاتّصال [43].



الشكل (2-8): النموذج العكسي.

### 8.8.2. تعديل القناة:

يعد تعديل القناة بديلاً لتقنية تحديد هوية القناة الموصوفة سابقاً من أجل فك ترميز الإشارات المرسلية عبر قنوات الاتصال غير المثالية، وفي كلا الحالتين يرسل المرسل السلسلة  $s(n)$  والتي تكون معروفة عند كل من المرسل والمستقبل، وفي جميع الأحوال تستخدم في التعديل الإشارة المستقبلية كإشارة دخل  $x(n)$  للمرشح المتكيف والذي يتم ضبط خصائصه بحيث تكون إشارة خرجة مطابقة بشكل كبير للنسخة المؤخرة  $s(n - \Delta)$  من إشارة الإرسال المعروفة، وبعد فترة مناسبة من التكيف تصبح مركبات النظام إما ثابتة وتستخدم لفك ترميز الرسائل المرسلية المستقبلية أو يتم تكيفها باستخدام التقدير البسيط لإشارة الاستجابة المرغوبة والتي يتم احتسابها من  $y(n)$  وهذا ما يعرف بالتكيف موجب القرار.

يعد تعديل القناة واحداً من التطبيقات الأولى للمرشحات المتكيفة حيث يتضمن كل مودم هاتفي-حاسوبي (معدل إرساله 9600 نبضة/ثانية فأكثر) هذا المعدل المتكيف كما يعد مفيداً في أنظمة الاتصالات اللاسلكية.

### 9.8.2. نموذج المصنع العكسي:

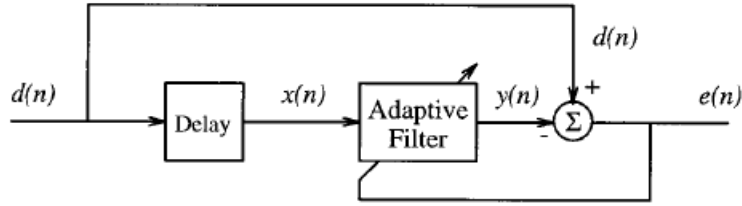
في العديد من مهام التحكم تعيق خصائص الطور والتردد للمصنع سلوك التقارب والاستقرار لنظام التحكم، ويمكن أن نستخدم النظام الموضح في الشكل (8-2) لتعويض خصائص المصنع غير المثالية و كطريقة أيضاً للتحكم المتكيف، وفي هذه الحالة ترسل الإشارة  $s(n)$  عند خرج المتحكم كما تمثل الإشارة  $x(n)$  الإشارة المقاسة عند خرج المصنع، ثم يتم ضبط مركبات المرشح المتكيف بحيث يمثل المصنع والمرشح المتكيف المتعاقب على نحو وثيق بالمؤخر  $z^{-4}$ .

### 10.8.2. التنبؤ الخطي:

في هذا النظام تشتق إشارة الدخل  $x(n)$  من إشارة الاستجابة المرغوبة وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$x(n) = d(n - \Delta) \quad (2-13)$$

حيث  $\Delta$ : هي التأخير وتأخذ قيمة صحيحة، وبما أن إشارة الدخل تشتق من إشارة الاستجابة المرغوبة لذا تكون متوفرة دوماً ثم يتم إرسالها إلى المرشح، وفي هذه الحالات يحاول المرشح التكيف الخطي أن يتوقع القيم المستقبلية اللحظية لإشارة الدخل باستخدام العينات السابقة؛ لهذا يسمى ذلك بالتنبؤ الخطي ويقال أن المرشح المتكيف يعمل كمرشح تنبؤي للخطأ، وللحصول على الخطأ تتم مقارنة إشارة الخرج  $y(n)$  بالإشارة المرغوبة  $d(n)$  وهي إشارة الدخل نفسها، وبعد ذلك يتم تخفيض خطأ التوقع  $e(n)$  إلى أدنى حد، ويقال أنه تم توقع إشارة الدخل، وفي حال كان تقدير الإشارة  $x(n + \Delta)$  عند اللحظة  $n$  مطلوباً فعندئذ تستخدم نسخة المرشح المتكيف الذي دخله هو العينة الحالية  $x(n)$  لحساب هذه القيمة [42].



الشكل (2-9): التنبؤ الخطي.

يمكن استخدام التنبؤ الخطي لتوقع خطأ القياس في حساس الضجيج ومسار الأجسام في صور الفيديو كما يستخدم هذا النموذج على نطاق واسع في تطبيقات معالجة الكلام (مثل ترميز الكلام في الهاتف المحمول وتحسين الكلام والتعرف على الكلام)، إلى جانب ذلك فإن التنبؤ الخطي له العديد من الاستخدامات في توقع الأحداث المستقبلية مثل:

### 1.10.8.2. الترميز التنبؤي الخطي:

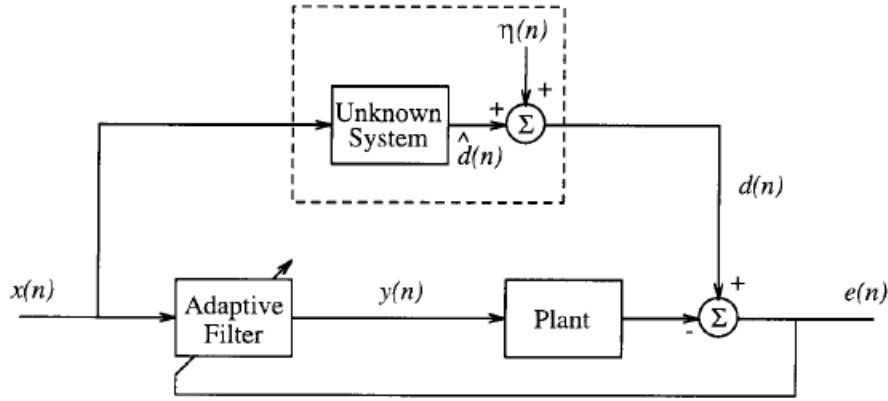
عند إرسال الصيغ الرقمية للإشارات الحقيقية كالصوت أو الصورة، فإن الارتباط الزمني بين هذه الإشارات يمكن أن يستخدم لترميز شكل الموجة بعدد أقل من البتات التي تحتاجها مقارنة مع تمثيلها الأصلي؛ إذ تعدّ طريقة الترميز التنبؤي الخطي مثلاً عن خوارزمية تشفير المنبع المستخدمة للتمثيل الرقمي، وبالتالي يمكن أن يستخدم التنبؤ الخطي لإنشاء نموذج لارتباطات الإشارة من أجل كتلة قصيرة من البيانات بطريقة تنقص عدد البتات التي تحتاجها لتمثيل شكل موجة الإشارة، ثم ترسل المعلومات الأساسية عن نموذج الإشارة على طول مركبات المرشح المتكيف من أجل كتلة البيانات المعطاة، وعند الاستقبال تُزامن الإشارة باستخدام مركبات المرشح ومعلومات الإشارة الإضافية التي تم تزويدها مع كتلة البيانات المعطاة، وعند تطبيق ذلك على إشارات الكلام فإن عينات الكلام  $x(n)$  تمثل في هذه الحالة إشارة الاستجابة المرغوبة، بينما تشكل  $x(n-1)$  دخل مرشح FIR المتكيف الذي يعرف هنا بمرشح الخطأ التنبؤي، أما إشارة الخطأ فتمثل الفرق بين  $x(n)$  وخرج المرشح المتكيف  $y(n)$  والتي تتناقص بدورها في الحساس التربيعي الأصغري لتقدير بارامترات النموذج، ثم تشفر إشارة الخطأ وبارامترات النموذج إلى تسلسل ثنائي، وترسل إلى الهدف، أما في جهة الاستقبال فتزامن إشارة الكلام باستخدام بارامترات النموذج وإشارة الخطأ؛ ولهذا فإن طريقة ترميز الإشارة هذه تسمح بنقل الكلام المفهوم عند معدل 2.4 كيلو بت/ثانية، وعلى الرغم من أن الكلام المعاد بناؤه ذو جودة واضحة إلا أن الترميز التنبؤي يمكن أن يشترك مع المكمم؛ ليسمح بترميز الكلام بجودة أعلى عند معدلات بيانات أعلى باستخدام تعديل الترميز النبضي التفاضلي المتكيف (ADPCM: Adaptive Differential Pulse-Code Modulation)، وفي كلتا الطريقتين تلعب بنية المرشح الشبكي دوراً مهماً بسبب طريقتيه في تحديد الطبيعة الفيزيائية للقناة الصوتية.

### 2.10.8.2. تحسين الخط المتكيف:

تتكوّن إشارة الاستجابة المرغوبة  $d(n)$  في بعض الحالات من مجموع الإشارة عريضة الحزمة والإشارة شبه الدورية (نفرض أنّ الإشارة ضيقة الحزمة (شبه الدورية) محتواة في الضجيج المضاف عريض الحزمة)، ومن المرغوب فيه فصل هاتين الإشارتين دون معرفة محدّدة حول هذه الإشارات (مثل التردد الأساسي للمكوّن الدوري)، وبعد فصل الإشارة ذات الحزمة الضيقة والإشارة ذات الحزمة الواسعة بعضهما عن بعض أحد تطبيقات المرشّح المتكيف التنبؤي؛ لذلك يستخدم في بعض الحالات المرشّح المتكيف المشكّل في الشكل (9-2) والذي يدعى بـ ALE، ويعرّف بأنّه مرشّح قابل للتوليف الذاتي قادر على فصل المكونات الدورية والعشوائية في الإشارة، ويستخدم حسّاس واحد فقط لاستقبال الإشارة المرغوبة؛ لذا فهو سهل التّحكم، وبما أنّ  $x(n)$  هي نسخة متأخّرة من  $d(n)$  فإنّه من أجل هذا التطبيق يتم اختيار التّأخير كبيراً بشكل كاف بحيث يكون المكوّن عريض الحزمة في  $d(n)$  غير مرتبط مع المكوّن عريض الحزمة في  $d(n - \Delta)$  ) يؤدي تأخير  $d(n)$  بمقدار عينة واحدة إلى فصل المكوّن عريض الحزمة عن الإشارة نفسها، ممّا يعني أنّ المرشّح المتكيف سوف يتجاهل هذا الدّخل، وفي هذه الحالة لا تنتقل الإشارة عريضة الحزمة عن طريق المرشّح المتكيف خلال عمله، وتبقى في إشارة الخطأ  $e(n)$  بعد فترة مناسبة من التّكيف، حيث يتكيّف المرشّح بطريقة تتشكّل فيها حزم تمرير ضيقة حول التّردّد الجيبي، كما يتقارب خرجه  $y(n)$  إلى مكوّن ضيق الحزمة، والذي يمكن التنبؤ به بسهولة باستخدام العينات السابقة المعطاة، وبهذه الطّريقة يتم تخميد الكثير من الضجيج، وتحسين نسبة الإشارة إلى الضجيج في إشارة الخرج  $y(n)$ ، يسمّى ذلك تحسين الخط لأنّ الإشارات الدورية تحدّد بخطوط في طيفها التّرددي وتحسّن خطوطها الطيفية هذه عند خرج المرشّح المتكيف [44].

### 11.8.2. التّحكم بالتغذية الأمامية:

يظهر مخطّط هذا النّظام الموضّح في الشكل (10-2) أنّ خرج المرشّح المتكيف يمر عبر المصنع قبل طرحه من إشارة الاستجابة المرغوبة لتشكيل إشارة الخطأ، وبالتالي يعيق المصنع عمل المرشّح المتكيف عن طريق تغيير خصائص المطال والطّور لإشارة خرج المرشّح المتكيف الممثّلة بـ  $e(n)$ ، لذلك فإنّ معرفة المصنع مطلوبة بشكل عام ليضبط بدوره بارامترات المرشّح بصورة صحيحة.



الشكل (2-10): التَّحَكُّمُ بالتَّغْذِيةِ الأماميةِ.

وكتطبيق على ذلك هو التَّحَكُّمُ النَّشْطُ بالضَّجيجِ حيث تنتشر طاقة الصَّوتِ غير المرغوبة عبر الهواء أو سائل في منطقة فيزيائية من الفضاء، وفي هذه الحالات فإنَّ النِّظامَ الكهربائي - الصَّوتي والذي يضمُّ المكرفونات ومكبرات الصَّوتِ وواحداً أو أكثر من المرشحات المتكيفة يمكن أن يُستخدم لإنشاء حقل صوتي ثانوي يتداخل مع الصَّوتِ غير المرغوب، مخفضاً مستواه في المنطقة عن طريق التَّدَاخُلِ الهدَّامِ، كما يمكن أن تستخدم تقنيات مشابهة لذلك أيضاً لإنقاص الاهتزازات في الأوساط الصلبة.

## 12.8.2. معالجة المصفوفة:

تستخدم مصفوفة الهوائي المتكيفة تقنيات معالجة مشابهة جداً لتلك المستخدمة في المرشحات المتكيفة؛ إذ تستخدم الفصل المكاني بين عناصر الهوائي لتوفير مجموعة متوازية من عينات الإشارة بدلاً من استخدام نسخ متأخرة زمنياً أو معالجة جزئياً لإشارة الدَّخَلِ ذات البعد الواحد، وتشمل تطبيقاتها تقدير الاتجاه وتشكيل الشعاع المتكيف.

## 9.2. خوارزميات عمل المرشحات المتكيفة:

إنَّ الخوارزمية المتكيفة هي إجراء لضبط وتحديث بارامترات المرشح المتكيف بشكل متكرر لتخفيض تابع الكلفة لأخطاء التقدير حيث تأخذ صيغة التَّكْيِفِ الشَّكْلَ التَّكراري الآتي:

$$\text{تقدير البارامتر التَّالِي} = \text{تقدير البارامتر السَّابِق} + \text{تحديث الخطأ}$$

وإنَّ لاختيار تابع الكلفة للخوارزمية تأثيراً كبيراً على خواص الخوارزمية ككل، فهو يؤثر على تحديد المعدل الذي تتقارب فيه عملية التَّكْيِفِ التَّكراري إلى الحالة الثَّابِتة، وتمثِّل هذه الحالة النِّقْطَةُ التي يحقُّ عندها هذا التَّابع القيمة الصغرى له، وعلاوة على ذلك يحدِّد تابع الكلفة أيضاً قوَّةَ النِّظامِ واستقراره ويجب اختيار هذا التَّابع بعناية بحيث يكون مستمراً ومحدَّباً ذا قيمة دنيا وحيدة "سهل التَّعَقُّبِ والملاحظة"، وفي بعض الأبحاث يُشار إلى تابع الكلفة هذا بسطح أداء الخطأ، وإنَّ تابع

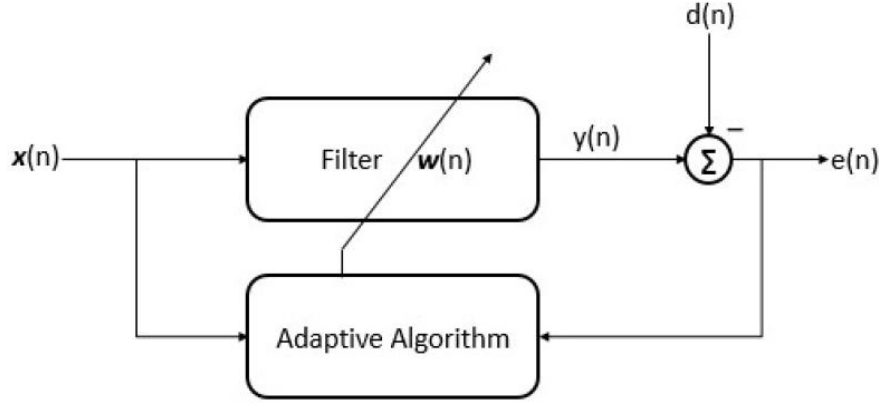


الكلفة الشائع الاستخدام هو القيمة المربّعة المتوسطة أو القيمة المربّعة الصّغرى لإشارة الخطأ، كما أنّ الشّكل العام لخوارزمية مرشّح FIR المتكّيّف هو:

$$W(n+1) = W(n) + \mu(n)G(e(n), X(n), \Phi(n)) \quad (2-14)$$

حيث  $G(\cdot)$ : تابع غير خطّي ذو قيمة اتجاهيّة معيّنة،  $\mu(n)$ : بارامتر حجم الخطوة،  $X(n)$ : شعاع إشارة الدّخل،  $e(n)$ : شعاع إشارة الخطأ،  $\Phi(n)$ : شعاع الحالات التي تخزّن المعلومات المرتبطة بخصائص إشارات الخطأ والدّخل و/أو المركّبات عند اللّحظات الزّمنية السّابقة، ولا تستخدم  $\Phi(n)$  في الخوارزميّات الأبسط إنّما تكون المعلومات الوحيدة اللّازمة لضبط المركّبات عند اللّحظة  $n$  هي شعاع إشارة الدّخل والخطأ وحجم الخطوة، ويسمّى حجم الخطوة بذلك؛ لأنّه يحدّد حجم التّغيير أو "الخطوة" التي تتخذها الخوارزمية في تحديد شعاع المركّبة المفيد بشكل تكراري، كما يلعب  $\mu(n)$  دوراً في أداء المرشّح المتكّيّف من ناحية الخصائص التّرددية أو الإحصائيّة لإشارات الاستجابة المرغوبة والدّخل، وبذلك يعتمد نجاح تطبيق التّرشّيح المتكّيّف أو فشله على كيفية اختيار  $\mu(n)$  أو حسابها للحصول على الأداء الأفضل للمرشّح المتكّيّف.

ويمكن القول وفقاً لما سبق أنّ الفكرة الأساسيّة لخوارزمية عمل المرشّح المتكّيّف تكمن في تمرير الإشارة المشوّشة (المتداخلة) خلال مرشّح يميل إلى إخماد الضّجيج/التّداخل مع ترك الإشارة دون تغيير وبالتالي تعمل هذه الخوارزميّات على توليد شعاع التّصحّيح المعتمد على إشارة الدّخل والخطأ وبالتالي تقوم بضبط بارامترات المرشّح بتحديث أوزانه في كل تكرار لتخفيض تابع الكلفة لإشارة الخطأ، والوصول إلى أفضل تقدير للإشارة المرسلّة المطلوب كشفها، الشّكل (2-11)، وكما ذكرنا سابقاً فإنّ عمليّة التّكّيّف هذه لا تتطلّب معرفة مسبقة بخصائص الإشارة أو الضّجيج، كما توجد العديد من تطبيقات تخفيض الضّجيج/التّداخل يكون تغيّر خصائص الإشارة فيها سريعاً جدّاً ممّا يتطلّب استخدام خوارزميّات متكيفة تتقارب بسرعة أيضاً بهدف ضمان الوصول إلى البارامترات المثاليّة حيث تعتمد كفاءة المرشّحات المتكيفة من ناحية الأداء وجودة الخرج بشكل أساسي على تقنيّة التّصميم المستخدمة والخوارزمية المتكيفة المختارة، أمّا اختيار الخوارزمية فيعتمد على نوع التّطبيق، وعلى معدّل تقارب الخوارزمية مقابل السّرعة المطلوبة، وعلى التّعقيد الحسابي، والأجهزة والمعدّات المتوافرة، ومتطلبات الذاكرة، والتّأخير، والدّقة وما إلى ذلك..



الشكل (2-11): المخطط العام للمرشح المتكيف مع الخوارزمية.

## 10.2. تابع الكلفة لخطأ الحالة الثابتة:

إن  $G(.)$  في المعادلة (2-14) يعتمد على تابع الكلفة المختار من أجل مهمة الترشيح المتكيف المحددة، ويعطى تابع الكلفة للخطأ التربيعي المتوسط MSE كما يلي:

$$J_{MSE}(n) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} e^2(n) P_n(e(n)) d e(n) \\ = \frac{1}{2} E\{e^2(n)\} \quad (2-15)$$

حيث  $P_n(e)$  تمثل تابع الكثافة الاحتمالية للخطأ عند اللحظة  $n$ ،  $E[e^2(n)]$  هي التوقع لـ  $e^2(n)$ ،  $e^2(n)$  هي مربع إشارة الخطأ في اللحظة  $n$ ، أما  $E\{ \cdot \}$  فهي اختصار لتكامل التوقع في الجهة اليمنى من المعادلة (2-15)، وبعد تابع الكلفة MSE مفيداً من أجل مرشحات FIR المتكيفة لأن:

- $J_{MSE}(n)$  يملك قيمة دنيا محددة مرتبطة بالبارامترات في  $W(n)$ .
  - قيم المركبة التي تم الحصول عليها عند هذه القيمة الدنيا هي الوحيدة التي تنقص الطاقة في إشارة الخطأ  $e(n)$  مشيرة إلى أن  $y(n)$  تتقارب من  $d(n)$ .
  - $J_{MSE}(n)$  هو تابع مسطح عند كل واحد من البارامترات في  $W(n)$  بحيث أنه قابل للتفاضل بالنسبة لكل بارامتر في  $W(n)$ .
- تعد النقطة الثالثة مهمة لأنها تمكننا من تحديد كلا القيمتين المثاليتين للمركبة وفقاً للمعرفة الإحصائية بـ  $d(n)$  و  $x(n)$ ، بالإضافة إلى إجراء تكرار بسيط لضبط بارامترات مرشح FIR [40].

## 11.2. حل وينر:

من أجل بنية مرشح FIR فإن قيم مركبة  $W(n)$  التي تنقص  $J_{MSE}(n)$  تكون محددة إذا كانت إحصائيات إشارات الدخول والاستجابة المرغوبة معروفة، ويعرف عادة شعاع المركبة المثالي  $W_{MSE}(n)$  بحل وينر لمشكلة المرشح المتكيف، ولتحديد  $W_{MSE}(n)$  نلاحظ أن التابع  $J_{MSE}(n)$  الموضح في العلاقة (2-15) تربيعي بالنسبة للبارامترات  $\{w_i(n)\}$  كما أنه تابع قابل

للتفاضل، لذلك نستخلص النتيجة من النظرية المثالية التي تنص على أن اشتقاق تابع الكلفة المنعم (المسطح) بالنسبة لكل من البارامترات يكون صفرًا عند النقطة الأصغرية على سطح تابع الكلفة لإشارة الخطأ، لذلك يمكن إيجاد  $W_{MSE}(n)$  من خلال حل نظام المعادلات:

$$\frac{\partial J_{MSE}(n)}{\partial w_i(n)} = 0, \quad 0 \leq i \leq L-1 \quad (2-16)$$

باشتقاق  $J_{MSE}(n)$  في المعادلة (2-15) وتعويض  $e(n)$  و  $y(n)$  من أجل بنية مرشح FIR كما في المعادلتين (2-1) و (2-2) على التوالي نحصل على:

$$\begin{aligned} \frac{\partial J_{MSE}(n)}{\partial w_i(n)} &= E \left\{ e(n) \frac{\partial e(n)}{\partial w_i(n)} \right\} \\ &= -E \left\{ e(n) \frac{\partial y(n)}{\partial w_i(n)} \right\} \\ &= -E \{ e(n) x(n-i) \} \\ &= - \left( E \{ d(n) x(n-i) \} - \sum_{j=0}^{L-1} E \{ x(n-i) x(n-j) \} w_j(n) \right) \end{aligned} \quad (2-17)$$

و بتعريف المصفوفة  $R_{xx}(n)$  ذات الأبعاد  $N \times N$  على أنها مصفوفة الارتباط الذاتي لإشارة الدّخل  $X(n)$ ، والشّعاع  $P_{dx}(n)$  ذو البعد  $N \times 1$  على أنه شعاع الارتباط المتبادل بين إشارة الدّخل والإشارة المرغوبة كما يلي على التوالي:

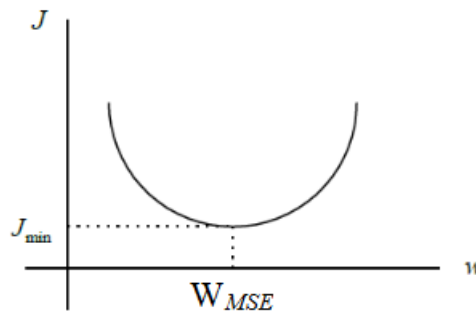
$$R_{xx}(n) = E \{ X(n) X^T(n) \} \text{ و } P_{dx}(n) = E \{ d(n) X(n) \} \quad (2-18)$$

يمكن دمج العلاقتين (2-16) و (2-17) للحصول على نظام المعادلات على شكل شعاع كما يلي:

$$R_{xx}(n) W_{MSE}(n) - P_{dx}(n) = 0 \quad (2-19)$$

حيث 0 يمثل شعاعاً صفرياً، وبما أن المصفوفة  $R_{xx}(n)$  عكسية فإنّ شعاع حل وينر المثالي (شعاع الوزن المثالي) هو:

$$W_{MSE}(n) = R_{xx}^{-1}(n) P_{dx}(n) \quad (2-20)$$



الشكل (2-12): التابع التربيعي MSE.

نجد من الشكل (2-12) أن المركبة المثالية  $W_{MSE}$  وحيدة وتقع عند الموقع المطابق للقيمة الصغرى لـ MSE على سطح تابع الكلفة لإشارة الخطأ  $J_{min}$ ، ويعرّف الشعاع  $V(n)$  بأنه شعاع

خطأ الوزن، وهو شعاع الفرق بين وزن المرشح  $W(n)$  والوزن المثالي  $W_{MSE}(n)$  ويعطى بالعلاقة:

$$V(n) = W(n) - W_{MSE}(n) \quad (2-21)$$

إنّ هدفنا هو تطوير المرشح المتكيف الذي يسعى إلى تخفيض التّابع MSE عن طريق الضبط المتكرّر لبارامترات (مثل مركّبات الاستجابة النبضية) لتحقيق مواصفات التصميم، وبما أنّ حل وينر تابع لـ  $R_{xx}(n)$  و  $P_{dx}(n)$  لذلك يتطلب الكثير من العمليات الحسابية بما في ذلك حساب المصفوفة العكسية  $R_{xx}^{-1}(n)$  من أجل بنية مرشح FIR ذي نقاط النّقر المتعدّدة؛ ممّا يجعل ذلك صعب التنفيذ في الزمن الحقيقي [44].

## 12.2. طريقة الهبوط شديد الانحدار:

إنّ طريقة الهبوط شديد الانحدار هي إجرائية تحسّن معروفة تبدأ بقيمة أولية معينة وتتبع سلبية التدرج باستخدام بارامتر حجم الخطوة من أجل الانتقال من نقطة لأخرى، وذلك لتخفيض قيمة تابع الكلفة  $J(n)$  فيما يتعلق بمجموعة البارامترات القابلة للضبط  $W(n)$  من أجل الوصول إلى الحد الأدنى المطلوب، والأوزان المثالية باستخدام نظام التغذية العكسية الحتمي، وتضبط هذه الطريقة كل بارامتر في النظام وفقاً للعلاقة:

$$w_i(n+1) = w_i(n) - \mu(n) \frac{\partial J(n)}{\partial w_i(n)} \quad (2-22)$$

بكلمات أخرى فإنّ البارامتر ذا الترتيب  $i$  للنظام يُستبدل وفقاً لاشتقاق تابع الكلفة بالنسبة للبارامتر ذي الترتيب  $i$ ، وبجمع هذه المعادلات على شكل شعاع نحصل على:

$$W(n+1) = W(n) - \mu(n) \frac{\partial J(n)}{\partial W(n)} \quad (2-23)$$

حيث إنّ  $\partial J(n) / \partial W(n)$  هي اشتقاق  $\partial J(n) / \partial w_i(n)$  والذي يعبر عن تدرج التّابع MSE.

ومن أجل المرشح المتكيف FIR الذي ينقص تابع الكلفة MSE يمكن أن نستخدم النتيجة في العلاقة (2-17) لتعطي بوضوح شكل طريقة الهبوط شديد الانحدار لحل هذه المشكلة، وباستبدال هذه النتائج في العلاقة (2-22) نحصل على معادلة التّحديث لـ  $W(n)$  كما يلي:

$$W(n+1) = W(n) + \mu(n)(P_{dx}(n) - R_{xx}(n)W(n)) \quad (2-24)$$

تعدّ طريقة الهبوط شديد الانحدار فعّالة من ناحية تجنّبها حساب المصفوفة العكسية  $R_{xx}^{-1}(n)$

(من أجل  $N$  مركبة للمرشح) والتي قد تصبح غير متكيفة، وتتبع خوارزمية الهبوط شديد

الانحدار الإجرائية أدناه لإيجاد الحل الأمثل لها:

1- تهيئة الخوارزمية مع التّخمين الأولي للبارامترات التي يجب تحسينها من أجل حساب القيمة

الدنيا ل MSE .

2- إيجاد تابع التدرج الفعلي المرتبط بالبارامترات.

3- تحديث البارامترات باتباع الاتجاه المعاكس لشعاع التدرج الذي تم العثور عليه مسبقاً.

4- تكرار الخطوتين 2 و 3 حتى لا يصبح تغيير البارامترات بلا أهمية.

وبما أنه لا يمكن تحديد التدرج الحقيقي فإن من الممكن استخدام التدرج العشوائي؛ إذ تعتمد هذه الطريقة على الكميات الإحصائية  $E\{d(n)x(n-i)\}$  و  $E\{x(n-i)x(n-j)\}$  المحتواة في علاقتي  $P_{dx}(n)$  و  $R_{xx}(n)$  على الترتيب، وعملياً في التطبيقات الحقيقية بدلاً من حساب انعكاس مصفوفة الارتباط الذاتي للحصول على حل وينر يمكن الحصول فقط على القياسات لكل من  $d(n)$  و  $x(n)$  من أجل استخدامها في عملية التكيف، لذلك، وطالما أن هذه التقديرات المناسبة للكميات الإحصائية التي نحتاجها من أجل العلاقة (2-24) يمكن تحديدها من خلال إشارات  $x(n)$  و  $d(n)$  فإنه بدلاً من ذلك يتم تطوير نسخة تقريبية لطريقة الهبوط شديد الانحدار تعتمد على قيم الإشارات نفسها وتسمى هذه الطريقة بخوارزمية LMS [40].

### 13.2. خوارزمية المتوسط التربيعي الأدنى (LMS: least Mean Square):

إن تابع الكلفة  $J(n)$  المختار من أجل خوارزمية الهبوط شديد الانحدار (2-22) يحدد حل المركبة الذي يمكن الحصول عليه من خلال المرشح المتكيف، وإذا تم اختيار تابع الكلفة MSE الموضح في العلاقة (2-15) فإن نتائج الخوارزمية تعتمد على إحصائيات  $d(n)$  و  $x(n)$  بسبب وجود عملية التوقع في العلاقة المحددة له، وكما ذكرنا سابقاً طالما أننا نحصل فقط على القياسات المتاحة لكل من  $d(n)$  و  $x(n)$  فإننا نستبدل تابع الكلفة بتابع كلفة بديل معتمد على هذه القياسات، حيث نقترح تابع الكلفة المبسط لخوارزمية LMS الذي يعطى بالعلاقة:

$$J_{LMS}(n) = \frac{1}{2} e^2(n) \quad (2-25)$$

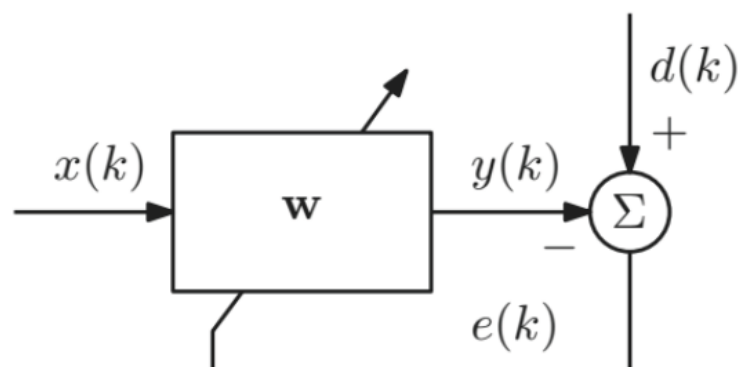
ويمكن اعتبار تابع الكلفة هذا تقديراً لحظياً لتابع الكلفة MSE؛ إذ إن  $J_{MSE}(n) = E\{J_{LMS}(n)\}$  ، وبأخذ اشتقاق  $J_{LMS}(n)$  بالنسبة لعناصر  $W(n)$  التي تعبر عن الريح المضاعف أو ما يسمى مركبات المرشح نحصل على:

$$\frac{\partial J_{LMS}(n)}{\partial W(n)} = (d(n) - W(n)X(n)) \frac{\partial (d(n) - W(n)X(n))}{\partial W(n)} = -e(n)X(n) \quad (2-26)$$

باستبدال هذه النتيجة في العلاقة (2-22) نحصل على علاقة تحديث شعاع أوزان نقاط التفرع لخوارزمية LMS للمرشح المتكيف  $W(n+1)$  عند كل عينة جديدة وفقاً لإشارة الدخل  $X(n)$  وإشارة الخطأ  $e(n)$  وباستخدام بارامتر حجم الخطوة  $\mu$  كما يلي:

$$W(n+1) = W(n) + \mu(n) e(n) X(n) \quad (2-27)$$

يسمى بارامتر حجم الخطوة أيضاً عامل التقارب والذي يحدّد سرعة تقارب المرشّح ويستخدم لضبط التصحيح المطبق على شعاع الوزن من تكرار لآخر (من عينة لأخرى)، كما يؤثر على خطأ الحالة الثابتة واستقرار المرشّح، وعندما يكون بارامتر حجم الخطوة صغيراً جداً فإنّ مرشّح LMS يعمل كمرشّح تمرير منخفض ذي تردد قطع منخفض.



الشكل (2-13): توضيح لصندوق خوارزمية LMS.

أمّا خطوات خوارزمية LMS كما تظهر في الشكل (2-13) من أجل كل عينة جديدة عند اللحظة  $n$  فهي:

- حساب إشارة الخرج  $y(n)$  التي تمثل إشارة الضّجيج ذات الوزن وذلك بضرب شعاع الوزن الحالي  $W^T(n)$  بشعاع إشارة الدّخل  $X(n)$  (التي تعبّر عن الإشارة المرجعية المطبقة على الخوارزمية)، مع ملاحظة أنّ طول المرشّح يساوي طول إشارة الدّخل، ونعبّر عن ذلك بالعلاقة:

$$y(n) = W^T(n) X(n) \quad (2-28)$$

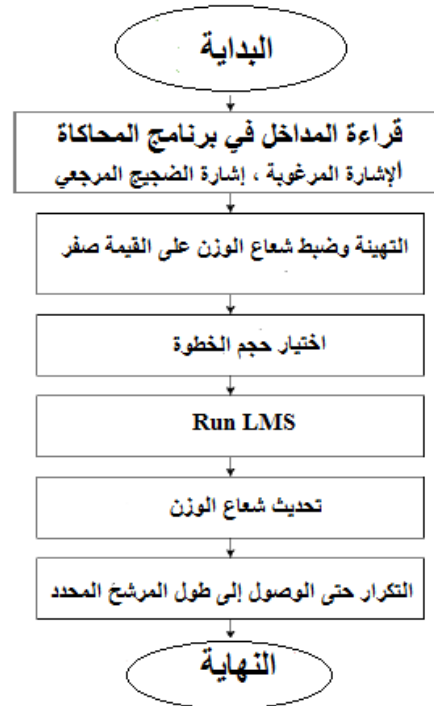
- حساب الفرق بين الإشارة المرغوبة  $d(n)$  وإشارة خرج المرشّح المتكيّف  $y(n)$  من أجل الحصول على إشارة الخطأ  $e(n)$  وفق العلاقة:

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (2-29)$$

- تحديث مركبة شعاع الوزن  $W(n)$  بشكل متكيّف وفقاً للعلاقة (2-27) من أجل الحصول على القيمة المقدّرة لإشارة التداخل  $y(n)$  في التكرار التالي، مع العلم أنّه في البداية تبدأ هذه الخوارزمية عملها بضبط جميع الأوزان وجعلها صفراً عند الخطوة الابتدائية للتكرار في اللحظة  $n=0$ ، كما تتطلّب عند كل تكرار (تحديث زمني) معرفة بالقيم الأحدث لكل من  $W(n)$ ،  $d(n)$ ،  $X(n)$ ،  $e(n)$ ، ففي كل تكرار تضاف العينة الجديدة إلى الذاكرة المؤقتة وتحذف العينة الأخيرة منها، بحيث تتوضّع العينة الجديدة المدخلة في الترتيب الأخير من الذاكرة المؤقتة، ويكون حجم هذه الذاكرة مساوياً لعدد نقاط التفرع للمرشّح

المقدّر، ثم يتم في كل تكرار أيضاً ترشيح عيّات الدّخل المخزّنة بالكامل باستخدام تحديث الوزن ومن المهم ملاحظة أنّ شعاع عيّات الدّخل يجب أن يكون طويلاً بما فيه الكفاية لحساب الوزن المثالي، بحيث تتقارب إشارة الخطأ إلى الصّفر، ويتم إنهاء الخوارزمية عندما يتكرّر شعاع الوزن ويُملاً وصولاً إلى طول المرشّح المحدّد المساوي لطول إشارة الدّخل [45].

ويمكن أن نعبر عمّا سبق بالمخطط التدفقي المبين في الشكل (2-14).



الشكل (2-14): المخطط التدفقي لتنفيذ خوارزمية LMS.

يمكن القول وفقاً لما سبق بأنّ خوارزمية LMS تتألف من عمليتين أساسيتين: أولاً عملية الترشّح التي تتألف من حساب خرج المرشّح المستعرض الناتج عن مدخلات نقاط النّقر، ثم مقارنة هذا الخرج فيما بعد بالاستجابة المرغوبة لتوليد خطأ التّقدير، وثانياً عملية التّكيف التي تتضمّن الضبط الآلي لأوزان نقاط النّقر وفقاً لخطأ التّقدير، وإنّ الدّمج بين العمليتين السابقتين معاً يشكّل حلقة تغذية عكسية [46].

كما نلاحظ أنّ جميع العلاقات السابقة للخوارزمية تحتوي فقط على عمليات الضرب والجمع والطرح عند التّنفيد؛ لذلك تتميز هذه الخوارزمية بحساباتها البسيطة؛ إذ إنّها لا تتطلّب معرفة مسبقة بإحصائيات الإشارة (مصفوفة الارتباط الذاتي لمداخل نقاط تفرع المرشّح (R) وشعاع الارتباط المتبادل بين مداخل نقاط النّقر والاستجابة المرغوبة (P)) بالإضافة إلى أنّها لا تتطلّب حسابات انعكاس المصفوفة، وفي الحقيقة إنّ عدد العمليات التي تحتاجها خوارزمية LMS ونوعها هو

نفسه تقريباً من أجل بنية مرشح FIR بقيم مركبة ثابتة، وهي واحدة من أسباب شعبية الخوارزمية إذ يعدّ الشكل الأكثر شيوعاً للمرشح المتكيف هو البنية المستعرضة FIR باستخدام خوارزمية LMS، كما أنّ الحل الذي نحصل عليه باستخدام خوارزمية LMS بالقرب من نقطة تقاربها يكون مرتبطاً بحل وينر، وعندما يكون حل وينر  $W_{MSE}(n)$  شعاعاً ثابتاً فإنّ تحليل الخوارزمية عند افتراضات إحصائية معينة حول إشارات الدّخل والاستجابة المرغوبة يظهر أنّ:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E\{W(n)\} = W_{MSE} \quad (2-30)$$

إنّ هذه الخوارزمية تعمل على تقليد المرشح المطلوب عن طريق إيجاد مركبات المرشح المرتبطة بإنتاج المتوسط التربيعي الأدنى لإشارة الخطأ (مجموع مربعات الفرق بين الإشارة المرشحة والإشارة الحقيقية)، وبما أنّ بارامتر حجم الخطوة  $\mu$  يتحكّم في التّغير المتزايد المطبق على شعاع أوزان نقاط التّفرع عند الانتقال من تكرار لآخر، فإنّه هو المتحكّم بمعدل (سرعة) التّقارب ضمن نطاقه المناسب أيضاً؛ لذلك ولضمان التّقارب والاستقرار في هذه الخوارزمية فإنّ  $\mu$  يجب أن يحقق الشرط (طاقة الدّخل الكلية/2)  $0 < \mu < 2$  حيث تشير طاقة الدّخل إلى مجموع القيم المتوسطة التربيعية لمداخل نقاط التّفرع للمرشح، وفي حاول تجاوز  $\mu$  الحد الأعلى فإنّ تقارب الخوارزمية لا يبقى مضموناً؛ إذ يزداد التذبذب في إشارة الخطأ ويستغرق الأمر وقتاً أطول بقليل لتحسين إشارة الخطأ وفقاً للإشارة المطلوبة، بالإضافة إلى ذلك فإنّ تقارب الخوارزمية يعتمد على عامل ثان هو نسبة القيم الذاتية الأعظمية إلى القيم الأصغرية لمصفوفة الارتباط الذاتي  $R_{xx}$  لإشارة الدّخل، إذ إنّ عندما تنتشر القيم الذاتية لمصفوفة الارتباط بشكل غير متساو سيؤدّي ذلك إلى تقارب مركبات المرشح عند سرعات مختلفة، أي إنّ انتشار القيمة الذاتية الأصغر للدّخل تعني سرعة التّقارب الأكبر، ويمكن أن يكافأ شرط التّقارب السابق بالعلاقة التالية:

$$0 < \mu < \frac{2}{\lambda_{max}} \quad (2-31)$$

حيث  $\lambda_{max}$  : هي القيمة الذاتية الكبرى للمصفوفة  $R_{xx}$ ، ويؤدّي حجم الخطوة الأكبر من  $\frac{2}{\lambda_{max}}$  إلى انخفاض سرعة التّقارب [47].

إنّ السلوك المتوسط لخوارزمية LMS مشابه تماماً لخوارزمية الهبوط شديد الانحدار في العلاقة (2-24) الذي يعتمد بشكل صريح على إحصائيات إشارات الدّخل والاستجابة المرغوبة لتقدير شعاع التّدرج، كما أنّ الطبيعة التكرارية لتحديث مركبة الخوارزمية هي شكل من أشكال المتوسط الزمّني الذي يعمل على تنعيم منحنى الخطأ في حسابات التّدرج اللحظي للحصول على تقدير أكثر منطقية للتّدرج الحقيقي، وذلك بتخفيض الخطأ المربّع اللحظي بدلاً من الخطأ المربّع المتوسط بحيث يتكيف المرشح بالاعتماد فقط على الخطأ في اللحظة الحالية، إذ تعتمد هذه الخوارزمية على طريقة الهبوط المتدرّج التي تقوم بملاحقة خصائص الإشارة المتغيرة زمنياً، وذلك باتّباع خطوات



في الاتجاه السالب لشعاع التدرج على منحنى MSE لتحديث البارامترات في كل تكرار، وبالتالي تخفيض خطأ الحالة الثابتة الذي لا يمكن أن يصل إلى القيمة صفر تماماً (حدوث التكيف المثالي غير ممكن واقعياً)، إنما الهدف من الخوارزمية هو الوصول إلى القيمة الصغرى له المرتبطة بالمركبة ذات الترتيب  $n$  في هذه الحالة (إنتاج المربع المتوسط الأدنى لإشارة الخطأ) وعند حدوث ذلك ستتوقف الخوارزمية عن العمل وتتقارب مركبات المرشح المتكيف إلى الحل الثابت، وبما أننا نعبر عن خطأ الحالة الثابتة بدالة تربيعية تابعة لشعاع المركبة فسيكون له قيمة صغرى واحدة فقط تقابل الوزن المثالي (حل وينر) وتعرف هذه القيمة أيضاً بالخطأ التربيعي المتوسط ذي القيمة الصغرى لتابع الكلفة، وهذا ما يفسر اعتماد الخوارزمية على التدرج السلبي الذي يقود إلى زيادة الأوزان وتخفيض الخطأ على منحنى MSE على عكس التدرج الإيجابي الذي يعني أن الخطأ يستمر في التزايد بشكل إيجابي، وتتقارب خوارزمية LMS نحو هذا الوزن المثالي صعوداً أو نزولاً على المنحنى الذي يربط بين الخطأ التربيعي المتوسط ووزن المرشح. وعلى الرغم من امتلاك هذه الخوارزمية العديد من المزايا مثل بساطتها الحسابية وعدم حاجتها إلى ذاكرة كبيرة وأدائها الثابت القوي؛ إذ إنها تمتلك القدرة على العمل بشكل جيد من أجل مختلف إشارات الدّخل وبدون شروط أيضاً (مثل: البيئة ذات الضجيج القوي، التغير في نماذج الإشارة و/أو الضجيج،...) بالإضافة إلى سهولة تنفيذها في البيئات الثابتة، إلا أن معدل تقاربها بطيء؛ إذ إنها تمتلك بارامتراً متكيفاً واحداً فقط يؤثر في معدل التقارب، وهو حجم الخطوة  $\mu$  الثابت الذي يملك مجالاً محدوداً للتكيف لتحقيق الاستقرار بدوره، وإنّ التقدير الصحيح لحجم الخطوة من شأنه أن يؤدي إلى تحقيق القدر الأمثل من المفاضلة بين معدل التقارب والاستقرار [48].

### 1.13.2. تحليل خوارزمية LMS:

أثناء تحليل الخوارزمية ينبغي أن تؤخذ في الاعتبار بعض الافتراضات الواردة أدناه من أجل معالجة التحليل بسلاسة وسهولة:

- يُفترض أن تكون أشعة إشارة الدّخل  $X(n)$  مستقلة إحصائياً.
- يُفترض أن تكون الإشارة المرغوبة  $d(n)$  وشعاع دخل نقاط التفرع  $X(n)$  ذات توزيعات غوسية ومستقلة إحصائياً عن جميع إشارات الاستجابة المرغوبة السابقة.
- يعتمد شعاع أوزان نقاط التفرع في اللحظة الأخيرة فقط على إشارة الدّخل السابقة وإشارة الاستجابة المرغوبة السابقة والقيمة الأولية لأوزان نقاط تفرع المرشح.
- نتيجة للافتراضات السابقة فإنّ شعاع أوزان نقاط التفرع الأخير مستقل عن كل من إشارتي الدّخل والاستجابة المرغوبة.

## 14.2. خوارزميات أخرى عشوائية الانحدار:

### 1.14.2. خوارزمية LMS ذات القيمة المؤثرة للخطأ (SELMS: Sign-Error LMS):

إنّ خوارزمية LMS هي واحدة من عائلة كاملة من الخوارزميات المعتمدة على التقريبات اللحظية لإجراءات الانحدار الشديدي، وتعرف هذه الخوارزميات بخوارزميات الانحدار العشوائي لأنه عندما تكون إشارة الدّخل عشوائية فهذا يقود الخوارزمية إلى استخدام طريقة عشوائية للتدرج عند الانتقال من تكرار لآخر على سطح محدّد لتابع الكلفة لإشارة الخطأ من أجل ضبط بارامترات المرشح والتقارب من حل وينر المثالي، وكمثال على ذلك نعتبر أنّ تابع الكلفة يعطى بالعلاقة:

$$J_{SA}(n) = |e(n)| \quad (2-32)$$

حيث تشير | | إلى القيمة المطلقة، ويملك تابع الكلفة هذا أيضاً قيمة صغرى وحيدة عندما  $e(n) = 0$  بالإضافة إلى أنّ هذا التابع قابل للتفاضل عند أي نقطة على المنحني ما عدا عند  $e(n) = 0$ ، وعلاوة على ذلك فإنّ القيمة اللحظية لتابع الكلفة لإشارة الخطأ ذات القيمة المطلقة هي  $J_{MAE}(n) = E\{J_{SA}(n)\}$ ، وباشتقاق  $J_{SA}(n)$  بالنسبة للمركبات  $\{w_i(n)\}$  واستبدال النتائج في العلاقة (2-22) نحصل على خوارزمية الخطأ ذي القيمة المؤثرة كما يلي:

$$W(n+1) = W(n) + \mu(n) \operatorname{sgn}(e(n)) X(n) \quad (2-33)$$

حيث أنّه من أجل قيم  $e$  الحقيقية فإنّ:

$$\operatorname{sgn}(e) = \begin{cases} 1 & \text{إذا كان } e > 0 \\ 0 & \text{إذا كان } e = 0 \\ -1 & \text{إذا كان } e < 0 \end{cases} \quad (2-34)$$

أي إنّ:

$$\operatorname{sgn}(e) = \frac{e}{|e|} \quad \text{إذا كان } e \neq 0 \quad (2-35)$$

تعدّ خوارزمية الخطأ ذي القيمة المؤثرة طريقة مفيدة للتّرشيح المتكيف لأنّ الحد  $n$ - $\operatorname{sgn}(e(n)) x$  يمكن حسابه بسهولة في الأجهزة الرقمية المخصصة، كما أنّ خصائص التقارب هنا مختلفة عن تلك الموجودة في خوارزمية LMS، ويمكن تطبيق التابع  $\operatorname{sgn}(\cdot)$  إمّا على إشارة الخطأ أو على إشارة الدّخل أو على كليهما معاً [40].

### 2.14.2. خوارزمية LMS الطبيعية (NLMS: Normalized least Mean Square):

كما وجدنا في خوارزمية LMS المعيارية أنّ التّصحیح  $\mu(n) * e(n) * X(n)$  المطبق على شعاع الوزن  $W(n)$  عند التكرار  $n+1$  يكون متناسباً بشكل مباشر مع شعاع الدّخل  $X(n)$ ؛ لذلك عندما يصبح حجم الشعاع  $X(n)$  كبيراً يظهر الضعف الرئيسي في الخوارزمية في تعقيدها باختيار قيمة مناسبة لبارامتر حجم الخطوة تضمن الاستقرار، لذلك لضمان ألا تصبح  $\mu$  كبيرة بالمقدار الذي يُسبب عدم استقرار المرشح الناتج عن وجود التغذية العكسية في النظام والذي يؤدي إلى

ظهور مشكلة تضخيم الضجيج يمكن استخدام خوارزمية NLMS التي تعدّ امتداداً لخوارزمية LMS والتي يكون فيها حجم الخطوة  $\mu$  متغيراً زمنياً ومتناسباً عكسياً مع طاقة إشارة الدّخل الفعلية ممّا يجعل سلوك التقارب معتمداً على طاقة الدّخل، ويعرّف  $\mu$  بالعلاقة:

$$\mu = \frac{\mu}{x^T(n)x(n)} = \frac{\mu}{\|x(n)\|^2} \quad (2-36)$$

حيث  $\mu$ : هو حجم الخطوة الطبيعي (ثابت التّكيف) وتتراوح قيمه بين 0 و 2 ويعمل على تحسين معدّل التقارب الذي يعتمد بقوة في هذه الخوارزمية على طاقة إشارة الدّخل، أمّا أوزان نقاط التّفرع فتحدّث وفقاً للعلاقة:

$$W(n+1) = W(n) + \frac{\mu}{\gamma + x^T(n)x(n)} e(n)x(n) \quad (2-37)$$

حيث  $\mu_n = \frac{\mu}{\gamma + x^T(n)x(n)}$  هو ثابت التّكيف الطبيعي الجديد أو ما يعرف بحجم الخطوة لخوارزمية NLMS، بينما  $\gamma$ : هي قيمة صغيرة موجبة أصغر من الواحد تمّ تضمينها للتأكد من أنّ التّحديث لا يصبح كبيراً جداً عندما شعاع الدّخل  $x(n)$  صغير؛ ممّا يجعل الحد  $x^T(n)x(n)$  صغيراً جداً بشكل مؤقت، فتمنح  $\gamma$  بدورها القسمة على قيمة قريبة جداً من الصّفر أو الصّفر وتجنّب بذلك عدم الاستقرار العددي للخوارزمية الذي يمكن أن يظهر، وبذلك فإنّ حجم الخطوة في NLMS يحوي أكثر من معيار لتقديره بشكل مثالي، ويشير  $\|*\|$  إلى معيار إقليدس.

تظهر العلاقة (2-37) السّبب بوضوح وراء استخدام مصطلح الطبيعي، وذلك لأنّ الشعاع الناتج عن ضرب  $x(n) * e(n)$  طبيعي بالنسبة لمربع معيار إقليدس لشعاع دخل نقاط التّفرع  $x(n)$  الذي يمثّل قوّة الإشارة التي عادة ما تكون معروفة أو يمكن تقديرها مسبقاً كما يعطى بالعلاقة:

$$\|x(n)\|^2 = x(n)^2 + x(n-1)^2 + \dots + x(n-N+1)^2 \quad (2-38)$$

تتشارك هذه الخوارزمية مع خوارزمية LMS في بساطتها ومتطلباتها الحسابية غير المكلفة مع ارتفاع بسيط في التعقيد الحسابي، ولكن معدل تقاربها أسرع من خوارزمية LMS من أجل كل من بيانات الدّخل المترابطة وغير المترابطة؛ وذلك لأنّها تستخدم بارامتر حجم خطوة متغيراً بهدف التّقليل من خطأ الخرج اللحظي، لكنّها لا تزال بعيدة عن تحقيق المفاضلة المثلى بين معدّل التقارب وضبط الحالة الثّابتة (الاستقرار) [49].

### 3.14.2 خوارزمية LMS المتسرّبة (LLMS: Leaky LMS):

المشكلة التي يمكن أن تحدث عندما تحوي مصفوفة الارتباط الذاتي المرتبطة بعملية الدّخل واحدة أو أكثر من القيم الذاتيّة المساوية للصّفر، ففي هذه الحالة لن يتقارب المرشّح المتكّيف إلى حل وحيد، بالإضافة إلى ذلك فإنّ بعض المركّبات المنفصلة (الأوزان) يمكن أن تزداد دون قيود حتّى تصبح فائضة عن المكوّنات الماديّة أو تسبّب حدوث تدفق زائد خلال عملية تحديث الأوزان.

يمكن معالجة هذه المشكلة باستخدام مركبة التّسريب التي تميل إلى جعل كل وزن للمرشّح منحازاً نحو الصّفر، حيث يمكن كتابة خوارزمية LMS المتسرّبة كما يأتي:

$$\underline{W}(n+1) = (1 - \mu r) \underline{W}(n) + \mu e(n) \underline{u}(n) \quad (2-39)$$

حيث  $\mu$ : ثابت التّكيف،  $r$ : (عامل) مركبة التّسريب والذي يحمي الخوارزمية من المشاكل العددية ويوفّر درجة إضافية من الاستقرار ويحدّد بشكل عام في التّصميم على أساس تجريبي كحل وسطي بين المتانة وخسارة الأداء للمرشّح المتكيف، وكلاهما يأخذ قيمة موجبة صغيرة. لا تساعد خوارزمية LMS المتسرّبة في حل المشاكل العددية لخوارزمية LMS المعيارية فحسب إنّما هي مفيدة أيضاً في تحسين خصائص التّقارب عندما تكون مصفوفة ارتباط الدّخل  $R_{xx}(n)$  غير متكيّفة.

#### 4.14.2. خوارزمية LMS ذات حجم الخطوة المتغيّر ( VSSLMS : Variable Step Size LMS ):

كما ذكرنا إنّ بارامتر حجم الخطوة  $\mu$  في خوارزمية LMS يتحكّم بمعدّل التّقارب، لذلك هناك صعوبة في اختيار قيمة مناسبة له تضمن الاستقرار؛ إذ إنّ اختيار قيمة صغيرة جداً له تؤدي إلى زمن تقارب طويل جداً للوصول إلى الحل المثالي بينما القيم العالية جداً له تزيد من معدّل التّقارب ولكن في الوقت نفسه تسبّب زيادة الخطأ وظهور مشكلة تضخيم الضجيج كما أنّ المرشّح سيصبح غير مستقر حول القيمة الصّغرى، لذلك يجب اختيار قيمة مناسبة لحجم الخطوة وهذا يقود إلى عدّة محاولات للتحكم بحجم الخطوة بدلاً من اختيار قيمة ثابتة أو ضبطها يدوياً (مثل اختيار خوارزمية LMS ذات حجم الخطوة المتغيّر)، ويوجد نوعان لهذه الخوارزمية استناداً إلى طريقة الحصول على معادلة التّحكّم بحجم الخطوة، فالنوع الأوّل يقوم بضبط بارامتر حجم الخطوة وفقاً لموقع مركّبات المرشّح المتكيف مقارنة مع المركّبات المثالية، حيث يتم اختيار قيمة كبيرة لحجم الخطوة عندما تكون مركّبات المرشّح المتكيف بعيدة عن القيم المثالية لتسريع تقارب هذه المركّبات إلى قيمها المثالية، وبعد ذلك ينبغي تخفيض بارامتر التّقارب (حجم الخطوة) من أجل دقّة تقدير أفضل لكي يقترب شعاع مركّبات المرشّح من حل الحالة الثابتة، أي إنّ هذا النوع من الخوارزميات يعاني من الصّعوبة في قدرة الخوارزمية على تقدير المسافة بشكل جيّد بين أوزان المرشّح المتكيف والتّصميم المثالي، كما أنّها تعتمد على معايير معيّنة لضبط قيم حجم الخطوة وحسابها بشكل صحيح للحصول على أداء أفضل وفقاً لشروط بيئة التّطبيق ولا تعكس بدورها عملية التّكيف بدقّة في معظم الأوقات، أمّا النوع الثّاني من VSSLMS فيتجنّب المشاكل أعلاه عن طريق اختيار قيم حجم الخطوة القريبة من القيمة المثلى عند كل لحظة زمنية.

#### 5.14.2. خوارزمية LMS السريعة ذات الكتلة (FLMS: Fast LMS):

تتطلب تطبيقات الترشيح المتكيف مثل إلغاء الصدى ونظام إلغاء الضجيج مرشحات متكيفة بطول مرشح كبير، وإذا تم تطبيق خوارزمية LMS المعيارية على هذا المرشح المتكيف فقد تستغرق هذه الخوارزمية وقتاً طويلاً لإكمال عملية الترشيح وتحديث المركبات، وقد تتسبب هذه الفترة الزمنية بحدوث مشاكل في هذه التطبيقات؛ لأن المرشح المتكيف يجب أن يعمل في الزمن الحقيقي لترشيح إشارات الدخّل، لذلك يمكن في هذه الحالة استخدام خوارزمية LMS السريعة ذات الكتلة التي تستخدم تحويل فورييه السريع FFT لتحويل إشارة الدخّل  $x(n)$  إلى المجال الترددي، كما تقوم هذه الخوارزمية بتحديث مركبات المرشح في المجال الترددي، وهي تختلف عن خوارزمية LMS المعيارية بما يلي:

- تقوم خوارزمية LMS السريعة ذات الكتلة بتحديث مركبات المرشح المتكيف كتلة وراء كتلة مع العلم أنّ حجم الكتلة مماثل تماماً لطول المرشح أي إنه لا يتم تحديث شعاع الوزن حتّى يمتلئ شعاع الدخّل بمقدار طول المرشح، بينما تقوم خوارزمية LMS المعيارية بتحديث مركبات المرشح عينة وراء عينة.
- تتطلب خوارزمية LMS السريعة ذات الكتلة عمليات ضرب أقل من خوارزمية LMS المعيارية.

#### 15.2. خوارزمية المربعات الصغرى التكرارية (RLS: Recursive Least Squares)

تختلف هذه الخوارزمية عن عائلة خوارزميات LMS بسلوكها الإحصائي إذ تؤخذ القيم المتوسطة للمتغيرات، كما تتميز بأدائها وتقاربها الأسرع وملاحقتها الأفضل لإحصائيات الإشارة المتغيرة زمنياً مقارنة مع خوارزمية LMS، ويتم تحقيق معدل التقارب الأسرع هذا عن طريق استخدام معكوس مصفوفة الارتباط لإشارة الدخّل بشكل متكرر لتحديث المرشح، ويتم ذلك عن طريق إيجاد حل المربعات الصغرى لشعاع مركبات المرشح في كل تكرار بشكل دقيق بالاعتماد على جميع البيانات السابقة، كما أنّ خوارزمية RLS لا تعاني من مشكلة انتشار القيمة الذاتية لإشارة الدخّل وتكون ملائمة للبيانات المتغيرة زمنياً، لكنّها تمتلك درجة عالية من التعقيد الحسابي بسبب العمليات الرياضية المعقدة وتتطلب موارد حاسوبية أكثر، كما تعاني من بعض مشاكل عدم الاستقرار العددي بسبب سلوك التباعد المحتمل وأخطاء التقريب في البيئات محدودة الدقة، ولا تملك هذه الخوارزمية حجم خطوة إنّما تستخدم طريقة المربعات الصغرى بشكل متكرر عند استقبال العينات الجديدة من الإشارات الواردة عند كل تكرار لتقدير الارتباط بشكل مباشر من بيانات الدخّل، ومن خلال طريقة المربعات الصغرى هذه يتم تربيع الفرق بين الإشارة الأصلية والإشارة المقدرة، ثمّ يجمع بدوره للعنود على أفضل ملائمة حيث تعثر خوارزمية RLS بشكل متكرر على مركبات

المرشح التي تنقص تابع الكلفة للمربعات الصغرى الخطية ذات الوزن والمرتبطة بإشارات الدّخل، إذ تعدّ إشارة الدّخل حتمية في خوارزمية RLS التي تعمل باستخدام المصفوفات بينما تكون عشوائية في خوارزمية LMS والخوارزميات المشابهة لها التي تستخدم الأشعة، كما تستخدم هذه الخوارزمية المرشح المستعرض FIR للتنفيذ وتبقى بنية المرشح نفسها، كما هي الحال في خوارزمية LMS.

أي يمكن القول إنّ الهدف هنا هو اختيار مركّبات المرشح المتكيف المثالية الموافقة للخطأ التّربيعي الأصغري من خلال التقارب السريع نسبياً، بحيث تطابق الإشارة المقدّرة خلال فترة الملاحظة الإشارة المطلوبة بأكبر قدر ممكن في حسّاس المربعات الصغرى، ويكون ترتيب عمليات الخوارزمية كما يلي:

1\_ حساب خرج المرشح (تهيئة أوزان نقاط التّفرع على الصّفر).

2\_ إيجاد إشارة الخطأ  $e(n)$  وفق العلاقة:

$$e(n) = d(n) - w^T(n-1)x(n) \quad (2-40)$$

حيث إنّ  $x(n)$  : هي شعاع الدّخل ،  $w(n)$  : تمثّل شعاع مركّبات المرشح (أوزان نقاط التّفرع) عند اللحظة  $n$  ، ويتم ضبط الأوزان الابتدائية على القيمة صفر.

3\_ حساب شعاع ربح كالمان  $K(n)$  وفق العلاقة:

$$K(n) = \frac{P(n-1)x(n)}{\lambda + x^T(n)P(n-1)x(n)} \quad (2-41)$$

حيث  $\lambda$ : هو ثابت حقيقي موجب قيمته قريبة من الواحد لكنّه أقلّ منه، ويسمّى عامل التّرجيح الأسّي أو عامل النسيان وتكون مهمته إعطاء وزن أقلّ بأضعاف مضاعفة لعينات الخطأ الأقدم نظراً لأنّ المعلومات السابقة لها تأثير متزايد ضئيل على تحديث المركّبات،  $P(n)$  هي معكوس مصفوفة الارتباط الذاتي وتعطى بالعلاقة:

$$P(n) = \lambda^{-1}P(n-1) - \lambda^{-1}K(n)x^T(n)P(n-1) \quad (2-42)$$

وتكون القيمة الابتدائية لها:

$$P(0) = \delta^{-1}I = \begin{bmatrix} \delta^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & \delta^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & \delta^{-1} \end{bmatrix} \quad (2-43)$$

حيث  $\delta$ : هي معامل التّصحيح (ثابت موجب صغير) وهو القيمة المستخدمة لبدء عكس مصفوفة الارتباط الذاتي عند  $n=0$  ومن ثمّ تحقيق الاستقرار للعملية التكرارية،  $I$  : هي مصفوفة التعريف (مصفوفة الواحد).

4\_ تحديث معكوس مصفوفة الارتباط الذاتي السابقة.

5\_ تحديث أوزان نقاط التفرع، وإن العلاقة التكرارية لحساب شعاع جديد من مركبات المرشح (الأوزان) تتم عن طريق تصحيح الشعاع السابق بالاعتماد على إشارة الخطأ وشعاع ربح كالمان إذ إن خوارزمية RLS تستخدم الخطأ السابق لتحديث معادلة المرشح على عكس خوارزمية LMS التي تستخدم الخطأ اللاحق وتعطى هذه العلاقة التكرارية كما يلي:

$$W(n) = W(n-1) + K(n)e(n) \quad (2-44)$$

كما تبين العلاقة (2-41) أن شعاع كالمان يعتمد على نتائج الارتباط الذاتي لبيانات الدخل وبيانات الدخل نفسها، وعلى عامل يسمى عامل النسيان يجب اختياره بعناية؛ إذ تكون مجالات قيم هذا العامل بين  $0 \leftarrow 1$  وهي تضمن بدورها الاستقرار والتقارب للخوارزمية، ويؤمن العامل بدوره عملية تقدير الأوزان مع الزمن لبيانات الدخل، بحيث تكون أحدث نقاط البيانات ذات وزن أثقل مقارنة مع البيانات السابقة، وهذا يسمح لمركبات المرشح بالتكيف مع الخصائص الإحصائية المتغيرة زمنياً لبيانات الدخل، ومع ذلك فإن هذا يفرض قيداً على استخدام الخوارزمية بسبب القيم الصغيرة المطلوبة لـ  $\lambda$  لتتبع الإشارات إذا كانت البيئة غير ثابتة.

وبما أن خوارزمية RLS تعتمد على تطبيق تحديثات التكرار على التصميم المحسوب في الخطوة الزمنية السابقة، فهي تتطلب تقدير العينات السابقة من إشارة الخرج، وإشارة الخطأ، ووزن المرشح وهذا يؤدي إلى متطلبات ذاكرة أعلى [5-29].

## 16.2. معايير الأداء المطلوبة من الخوارزميات في الأنظمة المتكيفة [47]:

هناك العديد من المعايير التي تقيم أداء نظام الترشيح المتكيف، وهي تختلف باختلاف نوع الخوارزمية المستخدمة وتتوافق مع متطلبات النظام الذي تعمل فيه (مثل شكل الإشارة المرشحة، وطيف الإشارة المرشحة، ونسبة الإشارة إلى الضجيج في الخرج)، ومع سلوك المركبات (مثل معدل التقارب والاستقرار، والتعقيد الحسابي، ومتطلبات الذاكرة، وانحراف الحالة الثابتة، وتقارب الخوارزمية بسرعة مع المحافظة على الاستقرار)، وهذه المعايير هي:

### معدل التقارب:

وهو البارامتر الأول الذي يؤخذ بالاعتبار عند مقارنة الخوارزميات المختلفة بعضها مع بعض، ويحدد معدل التقارب المعدل الذي يتقارب به المرشح إلى حالته الناتجة، وبمعنى آخر هو سرعة تقارب المرشح إلى حل وينر المثالي (المركبات المثالية) والذي يرتبط مع القيمة الدنيا لتابع الأداء في حساس الخطأ التربيعي المتوسط أو عدد التكرارات المطلوبة من الخوارزمية للتقارب إلى الحالة الثابتة للخطأ التربيعي المتوسط، وعادة ما يكون معدل التقارب الأسرع هو السمة المرغوبة للنظام المتكيف، ولكن لا يكون مستقلاً عن خصائص الأداء الأخرى إنما هناك مفاضلة بينه وبين

معايير الأداء الأخرى مثل المفاضلة بين التقارب السريع (يتطلب حجم خطوة كبير) وخطأ الحالة الثابتة الصغير (يتطلب حجم خطوة صغير).

### حجم الخطوة:

أثناء حسابات المرشح يجب اختيار حجم الخطوة أيضاً الذي يسمح بالحصول على القيمة العظمى لنسبة تخفيض الضجيج، ويعدّ حجم الخطوة بارامتراً مهماً للمرشح المتكيف، مسؤولاً عن تحقيق سرعة تقارب أفضل من أجل أداء مرشح أفضل، ولكن اختيار القيم الكبرى له يؤدي إلى تكيف أسرع (معدل تقارب سريع) غير أنّ القيمة المربعة للخطأ (MSE: Mean Square Error) تزداد وتجعل الخوارزمية غير مستقرة من جهة أخرى، وفي هذه الحالة يمكن أن تقفز الخوارزمية متجاوزة القيم الصحيحة، أما اختيار القيم الصغيرة جداً له فلن يسمح للخوارزمية بالتقارب إلى القيمة الصغيرة للخطأ، وبالتالي لن يتم إيجاد مجموعة المركبات المثالية، كما توجد مفاضلة أيضاً بين حجم الخطوة وطول المرشح، وهذا يؤثر بشكل مباشر على معدل تقارب المرشح المتكيف، وفي النهاية يمكن تحديد حجم الخطوة المطلوب بدقة (المثالي) بوساطة طريقة التجريب والخطأ.

### الخصائص العددية:

وتشير إلى حساسية المرشح لخطأ التكميم لآته عند تنفيذ الخوارزمية عددياً تؤدي أخطاء التكميم إلى عدم الدقة، حيث تحدّد الدقة العددية بعدد البتات المستخدمة في التمثيل العددي لعينات البيانات ومركبات المرشح، ويقال عن خوارزمية المرشح المتكيف أنّها قوية عددياً عندما تكون غير حساسة للتغيرات في طول الكلمة المستخدمة في التنفيذ الرقمي لها.

### نسبة الإشارة إلى الضجيج:

وتعرّف بأنها نسبة قوة الإشارة إلى قوة الضجيج ويتم التعبير عنها غالباً بالديسيبل (dB)، وإنّ تحسين SNR هو الفرق في SNR للإشارة المطلوبة قبل الترشيح وبعده.

### الخطأ التربيعي المتوسط:

هو مقياس يشير إلى مقدار تكيف النظام للوصول إلى حل محدّد (التصميم المطلوب) وهو مربع الفرق بين الإشارة الحقيقية والإشارة المرشحة، وإنّ قيم MSE الصغيرة تشير إلى أنّ النظام المتكيف قد تمّت نمذجته والتنبؤ به وتكييفه و/أو تقاربه بدقة للوصول إلى حل للنظام، وبناء على ذلك يمكن أن نعرّف معياراً آخر يعبر عن ذلك وهو:

### عدم التوافق (ضبط التباين):

وهو تجاوز القيمة النهائية لـ MSE القيمة الصغيرة لها الناتجة عن حل وينر المثالي ويصف هذا البارامتر سلوك الحالة الثابتة للخوارزمية، ويستخدم لقياس عدم التوافق بين الإشارة الأصلية والإشارة المقدّرة، كما يقيس مدى دقة المرشح المتكيف الذي يتقارب إلى الاستجابة النبضية للنظام المراد تحديد هويته، ويحسب رياضياً بإيجاد الفرق بين الخطأ التربيعي المتوسط (MSE)



أو الانحراف التربيعي المتوسط (MSD: Mean Square Deviation) للخوارزمية المتكيفة وبين حل وينر، والهدف من ذلك هو تخفيض هذه القيمة وجعلها تقترب من الصفر للحصول على الأداء والدقة الأفضل، وطالما أن هذه القيمة تتناسب مع طول المرشح، وحجم الخطوة وطاقة إشارة الدّخل، فإنّ ثمة مفاضلة مثالية بين زمن التقارب وضبط التباين؛ إذ كلما زاد حجم الخطوة أصبح التقارب أسرع ولكنه يزيد من سوء الضبط، وبالمقابل فإنّ تخفيض حجم الخطوة يؤدي إلى تباطؤ التقارب وتحسين ضبط التباين.

#### الملاحقة:

وهي فعالية المرشح وقدرته على التكيف لملاحقة التغيرات الإحصائية في البيئة غير الثابتة، ويتأثر أداء الملاحقة للخوارزمية بمعدل التقارب وتذبذبات الحالة الثابتة (المستقرة) بسبب الضجيج؛ إذ تصل قيمة المركبات إلى القيمة المثالية بعد فترة من الزمن (يقال أنّ الخوارزمية تتقارب)، وبعد الوصول إلى هذه القيمة تبدأ الخوارزمية بالتذبذب حول هذه القيمة (قدرة ملاحقة سيئة)، وإن سرعة التقارب وحجم التأرجحات حول هذه القيمة المثالية يعتمد على الخوارزمية التي تقوم بضبط المركبات.

#### الاستقرار:

يشير مصطلح الاستقرار إلى تأثيرات الدقة المتناهية على الخوارزمية المستخدمة لإيجاد الحل لبعض المشاكل الجديرة بالاهتمام وهو يعني استقرار المرشح بشكل قريب من القيمة المثالية للخطأ وعدم التأرجح حول هذه القيمة، ويزداد الاستقرار بتخفيض حجم الخطوة، وبعد استقرار الخوارزمية المتكيفة مقياساً لوثوقية عملها؛ لذلك يعدّ تثبيت الخوارزمية أمراً بالغ الأهمية بعد تنفيذها؛ إذ من الممكن أن يؤدي ضعف الاستقرار في النهاية إلى جعل الأنظمة التي تعمل في تطبيقات الزمن الحقيقي فاشلة تماماً.

#### التعقيد الحسابي:

إنّ التعقيد الحسابي مهم وبشكل خاص في تطبيقات المرشح المتكيف في الزمن الحقيقي؛ إذ إنه عندما يبدأ نظام الزمن الحقيقي بالتنفيذ توجد العديد من القيود على المكونات المادية قد تؤثر في أداء النظام، وتتطلب الخوارزمية المعقدة موارد مكونات مادية أكثر بكثير من الخوارزمية البسيطة، وإن المتطلبات الأساسية في أثناء الحساب هي:

- عدد العمليات المطلوبة لإتمام الخوارزمية بشكل كامل في تكرار واحد (الجمع، الضرب، القسمة).
- الذاكرة المطلوبة لتخزين المعطيات وبرنامج الخوارزمية.
- تكلفة النظام المطلوب لتشغيل الخوارزمية وتحقيق الاستثمار المطلوب أثناء برمجة الخوارزمية على الحاسب.

## • زمن المعالجة.

لذلك لتقدير القوة الحسابية المطلوبة يتعين علينا أن نحسب عدد العمليات في تكرار واحد.  
**القوة:**

تعرف بقدرة النظام على مواجهة الأخطاء بقوة، وتؤدي التذبذبات الصغيرة في المرشحات المتكيفة القوية إلى حدوث أخطاء تقدير صغيرة، ويمكن أن تنتج هذه التذبذبات عن عوامل داخلية أو خارجية مختلفة للمرشح، لذلك تشير القوة إلى أداء خطأ المرشح في معالجة هذه التذبذبات، كما يمكن النظر إليها على أنها دمج لمتطلي الحد الأقصى من الحصانة ضد الأخطاء الداخلية (مثل أخطاء التكميم والتقريب) وفي الوقت نفسه لعدم الحساسية للأخطاء الخارجية، ولكن في بعض الأحيان من الأفضل أن تكون الخوارزمية حساسة لبعض تغييرات البيئة، مثل الضجيج وغيرها...، لذلك يعد تحقيق المفاضلة المثالية بين الحساسية الكافية والقوة النسبية مهمة صعبة الحل.  
**القوة العددية:**

عند تنفيذ خوارزميات الترشيح المتكيفة عددياً على حاسوب رقمي والذي يعمل حتماً باستخدام أطوال كلمة محددة ينتج عن ذلك أخطاء التكميم، وقد تسبب هذه الأخطاء في بعض الأحيان عدم الاستقرار العددي للخوارزمية المتكيفة، ويقال عن خوارزمية المرشح المتكيف أنها قوية عددياً عندما تكون غير حساسة للتغير في طول الكلمة المستخدم في التنفيذ الرقمي لها. يطلب من الخوارزميات المتكيفة أن تكون بسيطة حسابياً، قوية عددياً، ذات تقارب سريع ومستقر، ولكن لسوء الحظ لا تحقق أي من الخوارزميات التي تم تطويرها حتى الآن هذه المتطلبات بشكل مثالي.

لذلك يجب مقارنة الخوارزميات بالبحث عن أفضل خوارزمية بمعدل تقارب أسرع، انخفاض مستوى التعقيد الحسابي، وانخفاض خطأ التقدير.

## 17.2. استخدام المرشح المتكيف لتخفيض الضجيج/التداخل:

بعد الدراسة الشاملة للمرشحات المتكيفة وخوارزميات عملها بشكل كامل أصبح بالإمكان فهم مبدأ عمل المرشح المتكيف المستخدم لتخفيض الضجيج/التداخل، وهذا يسهل علينا توظيف عمل المرشح لتحسين أداء نظام الاتصالات المطلوب.

## 18.2. نظرة على التطورات الأولية والحديثة:

ظهر مفهوم التحكم بالضجيج النشط للمرة الأولى في عام 1936 في براءة اختراع لبول لويج "عملية إسكات الاهتزازات الصوتية" (براءة الاختراع الأمريكية رقم 2043416)، حيث وصف بول لويج في براءة الاختراع الخاصة به كيفية إلغاء النغمات الجيبية في القنوات من خلال تحليل طور الموجة وعكس القطبية. وبعد عشرين عاماً وصف أولسون ومايو (1953) ماص الصوت

الإلكتروني الخاص بهما " كماص جديد للأمواج الصوتية ذات التردد المنخفض؛ إذ يتم تشغيله إلكترونياً بالاعتماد على نظام التحكم بالتغذية العكسية للضجيج النشط، ويتم في نظامهم اكتشاف الضجيج غير المرغوب به بواسطة مكروفون وتغذية عكسية، ومن ثم تم تطوير أول سماعات رأسية ANC عام 1953 على يد هاولي و سيمشاوسر.

ومنذ تقديم هذه الاقتراحات الأولى تم تنفيذ العديد من التطورات في هذا الصدد من مجال البحث، ففي عام 1959 تم التعرف على خوارزمية LMS بواسطة ويدرو وهوف، ثم اقترح ويدرو عام 1975 بناءً على عمل أولسون ولويغ أسلوباً للترشيح المتكيف بالاعتماد على هذه الخوارزمية وتطبيقها باستخدام معالجات الإشارة الرقمية DSP الرخيصة والقوية، وأعطى ذلك بعداً جديداً للموضوع، فبمجرد ظهور اقتراح الترشيح المتكيف حصل تطوير نظام الإلغاء النشط للضجيج على شعبية زائدة خلال الثمانينات، وتم تطوير العديد من الأساليب (التغذية الأمامية، التغذية العكسية، الهجينة، إلخ...) و التعديلات على المرشح (FxLMS, FuLMS, NLMS, RLMS, etc..)، و فيما بعد من خلال تطبيق بورجيس عام 1981 في القنوات أصبحت أنظمة ANC تُستخدم في المنشآت الصناعية، والسيارات، والطائرات، والتدفئة، واتصالات الفيديو، وتطبيقات ANC الحديثة في سماعات الرأس (امبورغ، 1994؛ هيرش، 1999؛ ساس، 1998؛ سن.م. كو، 2006؛ غولدنشوه، 2012؛ لوبد، 2015) وفي الوقت الحاضر يشهد استخدام هذا النوع من الأنظمة نمواً سريعاً للغاية.

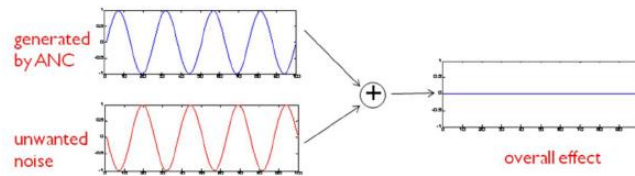
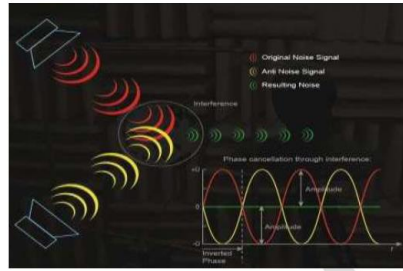
## 19.2. مبررات استخدام المرشحات المتكيفة:

تعدّ المرشحات المتكيفة أداة مفيدة جداً في معالجة الإشارة؛ إذ إنّ الكمية المطلوبة من المعلومات الأولية أقل من تلك المطلوبة للمعالجة باستخدام المرشحات الرقمية الثابتة، لذلك يعدّ تخفيض الضجيج/التداخل بواسطة المرشح المتكيف تقنية بديلة لتقدير الإشارات المشوشة بسبب الضجيج المضاف أو التداخل ومحاولة لتقليد الإشارة الأصلية المرسل، ويمكنه تحقيق مستويات رفض الضجيج التي قد يصعب أو يستحيل تحقيقها بواسطة طرق معالجة الإشارة الأخرى (مثل الطرح الطيفي التي تعطي قيمة منخفضة ل SNR، أو طريقة استخدام مصفوفة المكرفونات التي تملك أداء جيداً ولكن بسبب عدد المكرفونات المستخدمة في المصفوفة لا تستخدم بشكل عملي)، كما يعدّ تخفيض الضجيج/التداخل باستخدام المرشح المتكيف طريقة فعالة لتخميد الضجيج ذي التردد المنخفض في الوقت الذي تكون فيه التقنيات السلبية غير فعالة كما ذكرنا سابقاً، وبالتالي فإنّ قدرة المرشحات المتكيفة على العمل بشكل مرض في البيئة غير المعروفة وملاحقة التغيرات الزمنية لإحصائيات الدّخل تجعل منها أداة قوية لتطبيقات التحكم ومعالجة الإشارة في الزمن

الحقيقي؛ إذ تعمل المرشحات المتكيفة على تحسين نسبة الإشارة إلى الضجيج وتخفيض المتوسط التربيعي للخطأ بين الإشارة المرشحة والإشارة الحقيقية.

## 20.2. المفهوم الأساسي للترشيح 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، أما المفهوم الأساسي لتخفيض الضجيج/التداخل فهو يعتمد على تمرير الإشارة المشوشة عبر مرشح يعطي في خرجه إشارة مساوية للإشارة المسببة للتشويش في التردد والمطال ولكن بطور معاكس، وبالتالي ينتج عن هاتين الإشارتين عند التقائهما في اللحظة نفسها إلغاء إشارة التشويش غير المرغوب بها في المدخل الأولي عن طريق التداخل الهدام (الشكل (2-15)) بينما يبقى الإشارة الأصلية بدون تغيير نسبياً، مما يحسن نسبة الإشارة إلى الضجيج/التداخل لإشارة المعلومات الأصلية. وإذا كان لدينا العديد من إشارات الضجيج/التداخل غير المرتبط بعضها مع بعض فيمكن عندئذ استخدام عدة مرشحات متكيفة وربطها على التوازي بعضها مع بعض طالما أن إشارات الضجيج/التداخل المرجعية متوفرة في النظام.

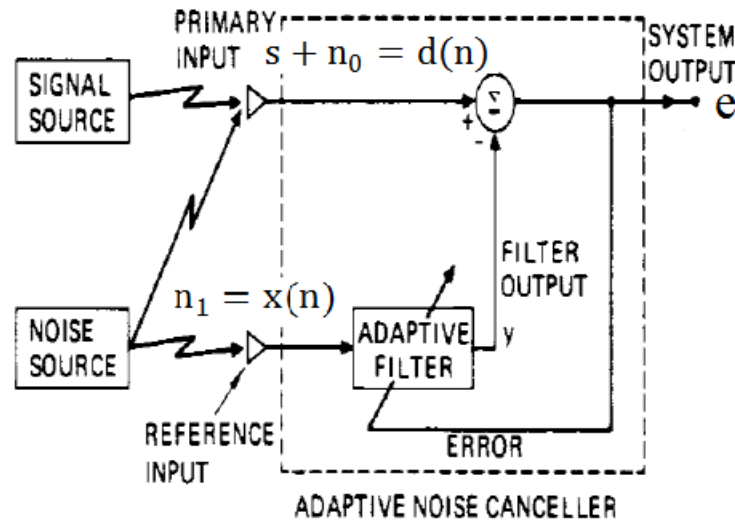


الشكل (2-15): إلغاء الضجيج من خلال التداخل الهدام.

## 21.2. مبدأ عمل أنظمة الإلغاء المتكيف للضجيج/التداخل:

تتكون هذه الأنظمة من جزأين أساسيين هما المرشح الرقمي المتكيف الذي يستخدم لحساب إشارة خرج المرشح كاستجابة لتسلسل بيانات الدخول والذي يكون في معظم الحالات من نوع FIR بسبب ميزاته المذكورة سابقاً (مثل الاستقرار...) وخوارزمية المرشح المتكيف التي تؤمن الآلية للتحكم المتكيف بمجموعة البارامترات القابلة للضبط والمستخدم في عملية الترشيح، وكما يظهر في الشكل (2-16) مرشح متكيف ثنائي المداخل يسمى أحدهما بالمدخل الأولي (الحساس الأولي)؛ إذ يُزود بإشارة المعلومات  $s$ ، والضجيج/التداخل المترافق معها  $n_0$  (ويسمى مجموع هاتين الإشارتين بالإشارة المرغوبة  $d(n) = s + n_0$ )، والمدخل الآخر يتلقى إشارة الضجيج/التداخل  $n_1$  من حساس

واحد أو أكثر متوضع عند نقاط في حقل الضجيج، والتي تكون عندها الإشارة ضعيفة أو غير قابلة للاكتشاف، وتكون إشارة الضجيج/التداخل هذه غير مرتبطة بالإشارة الأصلية لكنها مرتبطة بطريقة غير معروفة بمكوّن الضجيج/التداخل المترافق معها والموجود في المدخل الأولي، وتعدّ بمنزلة دخل مرجعي  $x(n)$  للمرشح المتكيف، وفي حال عدم توافر الإشارة المرجعية المناسبة تكون عندها النسخة المتأخرة من الإشارة المرغوبة نفسها بمنزلة مدخل مرجعي .



الشكل (2-16): لاغي الضجيج المتكيف.

تمرّ الإشارة  $x(n)$  عبر قناة غير معروفة وتُستقبل من قبل الحساس الأولي، ثم يتم ترشيح هذه الإشارة المرجعية بواسطة المرشح المتكيف لإنتاج الخرج  $y(n)$  المشابه (الأفضل تقدير) للضجيج/التداخل المضاف إلى المعلومات الأصلية، ويتم الحصول على الإشارة  $y(n)$  بضرب هذه الإشارة المرجعية بمركبات المرشح، وبالتالي يتم طرح  $y(n)$  من  $d(n)$  لإنتاج خرج النظام الذي يعرف بإشارة الخطأ  $e(n)$  والتي تغذي المرشح المتكيف مرة أخرى وتؤمن نظام التحكم في النظام؛ إذ تتحكم بالخوارزمية المطبقة، ثم تستخدم لتعديل مركبات المرشح القابلة للضبط (الأوزان) من اللحظة  $n$  إلى اللحظة  $n+1$ ، وبذلك يتكيف المرشح مع البيئة الجديدة في حال تغير خصائص بيانات الدّخل بتوليد مجموعة جديدة من المركبات من أجل هذه البيانات الجديدة؛ إذ يعتمد هذا المرشح المتغير على آلية التغذية العكسية لإشارة الخطأ، ويقوم بإعادة ضبط مركباته بطريقة تكرارية وذلك بتحديثها عند كلّ لحظة زمنية من أجل جعل  $e(n)$  أكثر ملائمة للإشارة  $s$  في حساس المركبات الصغرى بجعل الفرق بينهما أقل ما يمكن؛ إذ إنّه لتحسين هذا الخطأ إلى حد ما فإنّه يميل في بعض الحالات إلى الصفر وفي حالات أخرى يميل إلى الإشارة المطلوبة (إشارة المعلومات الأصلية المرسلّة) ممّا ينتج عنه تخفيض الضجيج/التداخل [50]، وتعطى علاقة تحديث المركبات كما يلي:

$$W(n+1) = W(n) + \Delta W(n) \quad (2-45)$$

حيث  $\Delta W(n)$  : عامل تصحيح مركبات المرشح، وتولد خوارزمية المرشح المتكيف هذا العامل بالاعتماد على إشارتي الخطأ والدخل.

ولو افترضنا أن خصائص القنوات التي يتم إرسال الضجيج فيها إلى الحساسين الأولي والمرجعي معروفة، فعندها يتحول هذا المرشح المتكيف إلى مرشح ثابت تتعين مركباته في البداية ولا يتم تغييرها في أثناء العمل، ويكون خرج  $y(n)$  هو نفسه الضجيج المرافق لإشارة المعلومات، والذي يتم طرحه من إشارة المدخل الأولي؛ مما يجعل خرج النظام هو الإشارة الأصلية وحدها، وهذا هو الفرق بين استخدام المرشح الثابت والمتكيف في حقل التطبيق.

## 22.2. التحليل الرياضي لعلاقات لاغي الضجيج/التداخل:

بالرجوع إلى الفقرة السابقة والشكل (2-16) نفترض أن  $s$  ،  $n_0$  ،  $n_1$  ،  $y$  ثابتة إحصائياً، وتأخذ قيم مساوية الصفر، وبافتراض أن  $s$  غير مرتبطة مع  $n_0$  و  $n_1$  ، بينما  $n_1$  مرتبطة مع  $n_0$  فإن خرج النظام (إشارة الخطأ) تعطى بالعلاقة:

$$e = s + n_0 - y \quad (2-46)$$

بتربيع الطرفين:

$$e^2 = s^2 + (n_0 - y)^2 + 2s(n_0 - y) \quad (2-47)$$

بأخذ التوقع لكلا طرفي المعادلة (2-47):

$$E[e^2] = E[s^2] + E[(n_0 - y)^2] + 2E[s(n_0 - y)] \quad (2-48)$$

باعتبار أن  $s$  غير مرتبطة مع  $n_0$  تصبح العلاقة السابقة كما يلي:

$$E[e^2] = E[s^2] + E[(n_0 - y)^2] \quad (2-49)$$

إن طاقة الإشارة  $E[s^2]$  لا تتأثر عندما يضبط المرشح المتكيف لتخفيض  $E[e^2]$ ، ووفقاً لذلك تعطى طاقة الخرج الصغرى كما يلي:

$$\min E[e^2] = E[s^2] + \min E[(n_0 - y)^2] \quad (2-50)$$

تبين العلاقة السابقة (2-50) أنه عندما يضبط المرشح المتكيف بحيث يتم تخفيض  $E[e^2]$  فإن  $E[(n_0 - y)^2]$  سوف تنخفض أيضاً، وبصبح الخرج  $y$  فيما بعد أفضل تقدير للضجيج  $n_0$  الموجود في المدخل الأولي، علاوة على ذلك وفقاً للعلاقة (2-46) فإن تخفيض  $E[(n_0 - y)^2]$  سيؤدي إلى تخفيض  $E[(e - s)^2]$  ، وإن ضبط المرشح المتكيف لتخفيض طاقة الخرج الكلية سيؤدي إلى جعل الإشارة  $e$  أفضل تقدير للإشارة  $s$ .

طالما أن إشارة الخرج  $e$  ستحتوي الإشارة  $s$  مضافاً إليها الضجيج، فوفقاً للعلاقة (2-46) فإن الضجيج المتبقي في الخرج يعطى بـ  $(n_0 - y)$ ، لذلك فإن تخفيض  $E[e^2]$  سيخفض  $E[(n_0 - y)^2]$  مما ينتج عنه تخفيض طاقة الخرج الكلية، وبالتالي تخفيض طاقة ضجيج الخرج،

وطالما أنَّ الإشارة  $s$  في الخرج تبقى ثابتة، فإنَّ تخفيض طاقة الخرج الكليَّة سيزيد نسبة الإشارة إلى الضَّجيج في الخرج.

وبما أنَّ الهدف الكليَّ من عملية التَّكْيِيف وضبط الأوزان هي التَّخْفِيز التَّدرِجي لقيمة إشارة الخطأ إلى أدنى حد لها، لذلك نجد من العلاقة (2-49) أنَّ أصغر طاقة خرج ممكنة هي:

$$E[e^2] = E[s^2] \text{ عندما } E[(n_0 - y)^2] = 0 \text{ أي أن: } (e = s \leftarrow y = n_0)$$

نستنتج ممَّا سبق أنَّ تخفيض طاقة الخرج سيجعل إشارة الخرج خالية من الضَّجيج بشكل مثالي [51].

## 23.2. العوامل المؤثرة في أداء لاغي الضَّجيج/التَّداخل:

نوع الخوارزمية المستخدمة:

النوعان شائعاً الاستخدام كما ذكرنا سابقاً هما خوارزمتا LMS و RLS، وتجدر الإشارة إلى أنَّه توجد تعديلات عديدة من شأنها تحسين واحد أو أكثر من خصائص الأداء لكل خوارزمية. عدد نقاط التَّفَرع:

إنَّ طول المرشَّح/عدد نقاط التَّفَرع هي إحدى البارامترات المهمة للمرشَّح المتكْيِيف لتحقيق الأداء الأفضل، لأنَّ عدد نقاط التَّفَرع هذه تحدِّد طول شعاع الوزن، أو ما يسمَّى طول المرشَّح، كما تحدِّد أيضاً عدد العينات المرجعية المطلوبة لحساب شعاع الوزن عند كل تكرار، بالإضافة إلى ذلك يؤثِّر عدد نقاط التَّفَرع (الموافق لعدد مركِّبات المرشَّح) أيضاً في معدَّل تقارب المرشَّح والموارد الحاسوبية وخطأ الحالة الثابتة؛ إذ إنَّ العدد الأقل سوف يزيد معدَّل التقارب كما يمكن أن يوفرَّ الموارد الحاسوبية، لذلك يجب اختيار طول المرشَّح أقصر ما يمكن، وفي الوقت نفسه ينبغي أن يكون طويلاً بشكل كافٍ لنمذجة النِّظام غير المعروف؛ إذ إنَّ نموذج المرشَّح القصير جداً يودِّي إلى ضعف أداء التَّمذجة، كما يمكن أن ينتج عنه عدم توافق كبير بين التَّقدير والواقع، ومن الناحية الأخرى إذا كان هذا الطَّول مرتفعاً للغاية فسيزيد التَّعقيد الحسابي، ومن الممكن أن يصل إلى درجة غير مقبولة، وبشكل عام إنَّ إيجاد هذا العدد بشكل دقيق يتمُّ بوساطة طريقة التَّجريب والخطأ.

نسبة تخفيض الضَّجيج:

يتمُّ قياس أداء النِّظام أيضاً عن طريق حساب نسبة تخفيض الضَّجيج (بالديسبل dB)، وتعرَّف نسبة تخفيض الضَّجيج (NRR: Noise Reduction Ratio) على أنَّها نسبة طاقة الضَّجيج إلى الخطأ كما في العلاقة:

$$NRR = \frac{\text{طاقة الضَّجيج}}{\text{طاقة الخطأ}} \quad (2-51)$$

$$NRR(\text{dB}) = 10 \log_{10}(NRR)$$

تحسب هذه النسبة بعد انتهاء عملية التّكيف للمرشّح (الوصول إلى الحالة الثابتة)، إذ تبدأ هذه القيمة بالتزايد مع ازدياد عدد مركّبات المرشّح حتّى تصل إلى قيمتها الأعظميّة، ثم تبدأ بالانخفاض بعدها، لذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار في أثناء تصميم المرشّح المتكيف اختيار عدد مركّبات المرشّح التي توافق هذه القيمة العظمى.

#### عدد العينات:

في البداية عند زيادة عدد العينات تكون نسبة NRR غير مستقرة؛ إذ تحدث التقلّبات الأوليّة بسبب العدد غير الكافي من العينات المستخدمة، ويكون المرشّح غير قادر على التّكيف مع التّغيرات المفاجئة في الإشارة، كما أنّه من الصّعب الوصول إلى الاستقرار في هذه المرحلة، ولكن مع زيادة عدد العينات تبدأ NRR بالاستقرار تدريجيّاً.

#### نسبة الإشارة إلى الضجيج:

تعرّف نسبة الإشارة إلى الضجيج على أنّها نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة الضجيج، وإنّ الإشارة المرشّحة الناتجة ستكون قريبة من الإشارة الخالية من الضجيج، لكن لن يختفي الضجيج بشكل كامل، وبكلمات أخرى فإنّ الفرق بين الإشارة مع الضجيج وبدونه سيكون أكبر من الصّفر، وإنّ زيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج تؤدي إلى زيادة نسبة NRR.

#### المسافة الطيفية المسجلة (LSD: log spectral distance):

يُشار إليها أيضاً بالتشويه الطيفي المسجل وهي قياس المسافة بين طيفين، ونقوم باحتساب متوسط المسافة الطيفية المسجلة بين الإشارتين النظيفة والمشوشة، وكلما كان مستوى LSD منخفضاً زاد مقدار إلغاء الضجيج.

إنّ المسافة الطيفية المسجلة بين الطيف  $P(w)$  و الطيف  $\bar{P}(w)$  تعطى بالعلاقة:

$$LSD = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} [10 \log_{10} \frac{P(w)}{\bar{P}(w)}]^2 dw} \quad (2-52)$$

حيث  $P(w)$ : متوسط طاقة الإشارة المشوشة،  $\bar{P}(w)$ : متوسط طاقة إشارة الدّخل.

#### المتطلبات الحسابية:

وهي متطلبات المكونات الماديّة لتنفيذ الخوارزمية، وإنّ المتطلبات الحسابية للمرشّحات المتكيفة عالية جداً بسبب استجاباتها النبضية الطويلة، بخاصة في أثناء التّنفيد على معالجات الإشارات الرّقمية.

#### الهيكل (البنية):

تحدّد كيفية تنفيذ المرشّح المتكيف، كما تشير إلى بنية تدفق المعلومات في الخوارزمية محدّدة الطّريقة التي تنفّذ بها الخوارزمية في الشّكل المادي، وكما ذكرنا سابقاً إنّ بنى التّصميم



تكون إما من نوع FIR أو IIR ، ويعدّ النوع FIR هو الأكثر استخداماً من الناحية العملية للأسباب التي تمّ ذكرها سابقاً.

من الواضح أن كل واحد من البارامترات السابقة يملك قيمة مثالية يكون عندها أداء لاغي الضجيج هو الأفضل [5].

**24.2. الخاتمة:** لقد قمنا في هذا الفصل بدراسة مفصلة وشاملة للمرشحات المتكيفة بدءاً من مبدأ عملها وبنية تصميمها، مروراً بدراسة المرشحات الرقمية التي تعدّ البنية الأساسية لهذه المرشحات، وانتهاءً باستعراض بعض تطبيقات هذه المرشحات، حيث تمّ في هذا البحث الاعتماد على اثنين من هذه التطبيقات، وهما الإلغاء المتكيف للضجيج والتحسين المتكيف للخط الذي يعدّ أحد تطبيقات استخدام المرشح المتكيف للتنبؤ الخطي، وهذا ما سنراه في الفصول القادمة، وبما أنّ المرشح المتكيف يعتمد في مبدأ عمله أيضاً على خوارزمية تحسين تستخدم لقيادة إشارة الخطأ فكان لا بدّ من التعرف على خوارزميتي LMS و RLS اللتين تعدّان أكثر الخوارزميات استخداماً في أنظمة الترشيح المتكيف، ووضع المعايير الأساسية التي تستخدم لمقارنة أداء الخوارزميات بعضها مع بعض، وتمّ التّطرق إلى مزايا كل خوارزمية منهما وسلبياتها، من أجل اختيار الخوارزمية الأفضل التي تحقّق معايير الأداء المطلوبة في نظامنا المدروس، ومن ثمّ تمّ في هذا الفصل التّوسع في دراسة أحد تطبيقات المرشحات المتكيفة، وهو الإلغاء المتكيف للضجيج الذي سيتمّ اعتماده كمبدأ أساسي للعمل في الفصول القادمة، كما تمّ في هذا الفصل ربط الدراسة النظرية للمرشح المتكيف مع العلاقات الرياضية له ممّا يعطي صورة كاملة ودقيقة عن هذه المرشحات ويمكن من البدء بدراسة نظام الاتّصال والعمل على تحسين أدائه باستخدامها، وهذا ما سنتناوله الفصول القادمة.

## الفصل الثالث: معالجة الإشارة اللاسلكية في الأنظمة الخلوية باستخدام المرشح المتكيف

**1.3. تمهيد:** لقد تمت الإشارة في فرضية البحث في الفصل الأول إلى أنه تم اعتماد النظام الخلوي كنظام اتصال مطلوب تحسين أدائه باستخدام المرشح المتكيف.

**2.3. مقدمة:** مع اتساع قاعدة مستخدمي الهواتف النقالة على الصعيد العالمي وتزايد الطلب على الاتصالات المتنقلة واللاسلكية، أصبحت الاتصالات الهاتفية اللاسلكية ذات شعبية كبيرة ولا غنى عنها في السنوات الأخيرة، فقد أصبحت بديلاً عن الخدمات التقليدية التي تقدمها شبكات الهاتف الثابت، وكان هذا دافعاً لتطوير العديد من معايير الاتصالات اللاسلكية على مرّ الأجيال المتتالية للنظام الخلوي، وبخاصة التطورات السريعة للغاية التي حدثت على مدى العقدين الماضيين؛ إذ إنّ الاتصالات وعقد المؤتمرات عن بُعد عبر الشبكة هي تطبيقات مستخدمة في الوقت الحاضر بشكل واسع للاتصال الفوري بسبب سهولة استخدامها ومرونتها وقلة تكلفتها؛ مما جعل الحاجة إلى توفير مكالمات صوتية جيدة إحدى أبرز الاحتياجات في عالم الاتصالات اليوم، وبالتالي للحصول على اتصالات أكثر وثوقية هناك العديد من التقنيات المستخدمة لتخفيض أثر التداخل والضجيج في أجهزة الاستقبال الراديوية يطبق بعضها خلال استشعار الطيف، بينما 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 محسن؛ إذ إنّها يمكنها تخميد الضجيج آنياً في حزم التردد حتى تلك التي تزيد على 125MHz.

### **3.3. مبررات اختيار النظام الخلوي كنظام اتصال لتحسين أدائه:**

يعدّ الضجيج والتداخل من العوامل الرئيسة التي تخفّض معدل نقل البيانات، وتحدّ من سعة النظام؛ إذ تبقى هذه المشكلة ملازمة للنظام الخلوي على مرّ أجياله؛ لذلك تستخدم العديد من الطرق لتحسين سعته وزيادة مناطق التغطية، كاستخدام المكررات الأمامية والمضخمات أو من خلال تخفيض طاقة الإرسال لتخفيف التداخل، كما هو متّبع في نظام التطور طويل المدى (LTE: Long-Term Evolution) أو عن طريق فصل الهوائيات، ولكن لكل طريقة منها سلبيّة؛ إذ إنّ المبعادّة بين الهوائيات تسبّب خسارة إرسال، كما أنّ طريقة تخفيض طاقة الإرسال لا تتسم بكفاءة عالية خاصّة إذا كانت التغطية مسألة مهمّة لأنّها تحدّ من مجالها [52].

وكما نعلم فإنّ أنظمة النفاذ المتعدّد بتقسيم الرّمز عريضة الحزمة (WCDMA: Wide-Band Code Division Multiple Access) تعتمد على التّحكّم الدقيق بالطاقة لتخفيض طاقة الإرسال؛ إذ تستخدم الأجهزة المحمولة والمحطّات القاعدية الحد الأدنى من الطّاقة اللاّزمة للتّواصل مع بعضها البعض، كما يصل في هذه الأنظمة عدد من المستخدمين إلى التّردد نفسه، ويستخدمون عرض النّطاق التّرددي في الوقت ذاته، لذلك فإنّ عمل المرشّح المتكيف في هذه الأنظمة إلى

جانب آلية التحكم بالطاقة سيعطي معدل نقل بيانات عالياً، وكفاءة أفضل للنظام كما يخفف من عمليات الخفوت (السريع والبطيء)، بالإضافة إلى إمكانية استخدام المرشح المتكيف في أنظمة النقل المزدوج الكامل التي يعمل فيها المرسل والمستقبل معاً في الوقت نفسه باستخدام تردد الموجة الحاملة نفسه، وذلك باستخدام الهوائي نفسه، أو عبر هوائي مختلف للإرسال والاستقبال، وهذا ما يجعلها تعاني من التداخل الذاتي؛ بسبب اقتران الإشارة المرسل ذات الطاقة العالية مع الإشارة المستقبلية، والتي يمكن أن تطغى عليها في بعض الأحيان على الرغم من تحقيق العزل الكافي بين هاتين الإشارتين؛ إذ إن الطرق التقليدية المتبعة لمعالجة الإشارات الرقمية قد لا توفر وحدها ما يكفي من التخمين لهذه الإشارة ذات الطاقة العالية؛ لأنّ مضخم الاستقبال قد يصل إلى الإشباع دون أن يقوم باستقبال الإشارة المرغوبة بشكل صحيح [53].

وتحاول أنظمة الجيل الرابع المتطورة LTE-advance تخفيض التداخل بين المستخدمين في الخلية نفسها، وذلك عن طريق استخدام نظام المزج بتقسيم التردد المتعامد OFDM لكن ستظل تعاني من تأثير التداخل الناتج عن الإرسال في الخلايا المجاورة؛ بسبب الاشتراك في الموارد نفسها من طيف ترددي أو زمني [54]، كما أنّ أحد عيوب نظام OFDM هي حساسيته لتردد دوبلر ومزامنة التردد، فهو شديد التعرض لأخطاء التزامن لذلك فإنّ أي انحراف في التردد 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 بعضها من بعض، وهذا ما يجعل استخدام المرشح المتكيف ممكناً في أنظمة الجيلين الرابع والخامس لتجنب آثار التداخل والمحافظة على معدلات النقل العالية.

كما أنّ خصائص طرق الإرسال في النظم الخلوية غير معروفة أو معروفة بشكل تقريبي وليست ذات طبيعة ثابتة، فإنّه لا يمكن تعريف معاملات المرشح في هذه الحالة؛ إذ يجب أن تكون متغيرة وفقاً للتغيرات في خصائص إشارة الدّخل من أجل تحسين أدائها، وهذا ما يجعل من الصعب تطوير مرشحات مع مركبات ثابتة لتخفيض التداخل والضجيج العشوائي؛ لأنّه سيتسبب في ضياع المعلومات المفيدة حيث لا يمكن ضبط خصائصه بدقة، وقد يؤدي أدنى خطأ إلى تعزيز الضجيج والتداخل، لذلك يكون الحل باستخدام المرشح المتكيف الذي يعمل وفقاً لبارامترات متغيرة؛ إذ يعدّ المرشح المتكيف الحل الأفضل لتحسين حساسية المستقبل عند انخفاض نسبة الإشارة إلى الضجيج/التداخل حيث يمكنه معالجة المعطيات بدون معلومات مسبقة عن الإشارة المستقبلية [55].

وفقاً لما سبق فقد تطوّرت المرشحات المتكيفة بشكل سريع جداً في السنوات الأخيرة، حيث تحتل شعبية بسبب تقدّمها في التكنولوجيا الرقمية وانخفاض تكلفة المكونات المادية لها والتنفيذ الحسابي المنخفض نسبياً لها، بالإضافة إلى قدرتها على العمل في بيئة غير معروفة وإمكاناتها الجيدة جداً للملاحقة مما يساهم في الجودة العالية للخدمة المقدّمة لمستخدمي الشبكة الخلوية.

#### 4.3. مبدأ عمل الشبكات الخلوية:

يتم تقسيم المنطقة المراد تغطيتها إلى أجزاء أصغر تعرف بالخلية التي يختلف قطرها بحسب بيئة الأرياف أو المدن ودرجة ازدحام المنطقة أيضاً؛ أي بحسب عدد المستخدمين الذين يتعيّن خدمتهم في منطقة معينة ومقدار الحركة لكل مستخدم، فإذا كان هناك قدر كبير من حركة المرور في منطقة ما فإنّ حجم الخلية سيكون أصغر عمّا هو عليه في المناطق الريفية، ولنفترض أن مشغلاً ما يحصل على عدد من الترددات، فيجب عليه عندئذ تحديد مساحة الخلية وفقاً للظروف الجغرافية للمنطقة، كما يراعى في بيئة المدن بعض الاعتبارات، مثل عرض الشارع والتباعد بين الأبنية وارتفاعها بالإضافة إلى ارتفاع الهوائي المطلوب والمرتبط بحجم الخلية، كذلك يتم تقدير عدد المستخدمين و تحديد عدد القنوات الضرورية في كل خلية، كما تخصص المحطات القاعدية في الخلايا المتجاورة بمجموعة قنوات ذات ترددات مختلفة كلياً بعضها عن بعض، ويطلق على هذه المجموعة من الخلايا المتجاورة التي تكون نموذجاً يمكن من خلاله تكرار التردد نفسه "وحدة تكرار الخلايا cluster"، إذ إنّ عملية تحديد نطاق التغطية هذه تمكّن من استخدام مجموعة القنوات نفسها (إعادة استخدام التردد) لتغطية خلايا مختلفة في cluster آخر تفصلها مسافات كبيرة بما فيه الكفاية لإبقاء مستويات التداخل في حدود مقبولة مما يسمح بتوفير الطاقة وتحسين القدرة والفعالية الطيفية، مما يمكن النظام الخلوي من معالجة عدد كبير من المكالمات باستخدام عدد محدود من القنوات.

#### 5.3. مكونات الشبكة الخلوية:

**الوحدة المتحركة (MS: Mobile Station):** وهي أي جهاز يمكن أن يستخدمه المشترك للاستفادة من خدمات الشبكة، وتكون عادةً الهاتف المحمول المزود بجهاز إرسال وجهاز استقبال يدمجان في وحدة متكاملة توفر إمكانية بث المعلومات وتلقيها بالإضافة إلى هوائي ودائرة التحكم. يحوّل الهوائي إشارة التردد الراديوي المرسل (RF: Radio Frequency) إلى موجة كهرومغناطيسية (EM: Electromagnetic Waves) وأيضاً موجات EM المستقبلية إلى إشارة RF المشعّة، ويستخدم الهوائي نفسه في كل من الإرسال والاستقبال، لذلك هناك تبديل متكرر للهوائي نفسه.

**المحطة القاعدية (BS: Base Station):** هي إحدى المكونات المهمة في الشبكة الخلوية وهي تحدّد الخلية أيضاً، وعندما تجمع مجموعة الخلايا بعضها مع بعض نحصل على وحدة تكرار الخلايا cluster وبدونها لا يمكن إعادة استخدام القنوات، وتوفّر BS الاتصال المباشر مع الهواتف النقالة؛ إذ يتطلب إنشاء الاتصال بين MS و BS ترددين: أحدهما لتأمين الاتصال من الهاتف المحمول إلى المحطة القاعدية (المسار الصاعد) والآخر بالاتجاه المعاكس (المسار الهابط)، وتحوي المحطة القاعدية على هوائي يثبت في جميع الاتجاهات، ويوجد برج الهوائي في مركز الخلية، ويمكن في بعض الأحيان استخدام الهوائيات الاتجاهية لتحسين الخدمة في بعض المواقع ذات الكثافة السكانية ضمن الخلية، كما يمكن استخدام هوائيين في حالات أخرى لتحسين الإشارة المستقبلية وللتغلب على الآثار السلبية لحالات الخفوت الناتجة عن تعدد المسارات.

**متحكم المحطة القاعدية (BSC: Base station controller):** ترتبط مجموعة من المحطات القاعدية بوحدة التحكم هذه، ومن الوظائف المهمة لها أنها تدير عمليات "التسليم" من BS إلى أخرى عندما يتحرك المشترك من خلية إلى خلية أخرى.

**مركز تبديل المحمول (MSC: Mobile switching center):** وهو مركز التحكم في النظام الخلوي ويقوم بالعديد من المهام مثل: الاتصال مع المحطات القاعدية، وتوجيه المكالمات، والتحكم فيها حسب الحاجة، كما تحتوي على قواعد البيانات التي توضح بالتفصيل المواقع الأخيرة المعروفة للهواتف النقالة بالإضافة إلى معلومات الفوترة وغيرها...

**سجل موقع الاشتراك (HLR: Home location register):** ويتضمن المعلومات المتعلقة بكل مشترك، مثل نوع الاشتراك، والخدمات التي يمكن أن يستخدمها المستخدم والموقع الحالي للمشارك، وحالة المعدات المتنقلة.

**سجل موقع الزائر (VLR: Visitor location register):** يتم تفعيله بمجرد دخول المشترك منطقة التغطية، وهو ديناميكي بطبيعته فبمجرد انتقال المشترك إلى منطقة أخرى يتم إبلاغ VLR بتحديث السجل الخاص بالمشارك تلقائياً.

**مركز التوثيق (AUC: Authentication center):** يحوي جميع البيانات المطلوبة لحماية الشبكة من المشتركين الزائرين وحماية مكالمات المشتركين العاديين.

### 6.3. التشويش في الأنظمة الخلوية:

يقصد بالتشويش كل ما من شأنه جعل الإشارة المرغوبة مبهمة أو غير واضحة مما يعيق استخلاص المعلومات التي تتضمنها، وينشأ إما بسبب تشوّه الإشارة في أثناء انتقالها من المرسل إلى المستقبل أو نتيجة تراكمها مع إشارات أخرى يرصدها هوائي الاستقبال دون التمييز بينها ودون توفر إمكانية عزلها بعضها عن بعض، وكذلك ينشأ عن تسريب الطاقة من النظام غير الخلوي

إلى نطاق التردد الخلوي، لذلك تعدّ نسبة الإشارة إلى التشويش البارامتر المؤثر بشكل مباشر على السعة الأعظمية لوصلة الاتصال بحسب علاقة شانون التي تعبّر عن سعة القناة لكل طريق اتصال في النقل المزدوج الكامل وبوجود الضجيج الغوسي الأبيض المضاف وتعطى كما يلي:

$$C_{HD} = B \log_2(1 + SNR) \quad (3-1)$$

$C$ : هي سعة قناة الاتصال وتقدر بالبت/ الثانية ،  $B$ : عرض الحزمة ويقدر بالهرتز.

ويمكن تصنيف الإشارات المسببة للتشويش في النظم الخلوية ضمن نوعين رئيسيين:

**التداخل:** وينتج عن قنوات ترددية معينة ومحددة إذ تعاني الأنظمة الخلوية الراديوية من وجود تداخل طيفي بين الإشارة المطلوبة والإشارة غير المرغوب بها القادمة من محطات قاعدية أخرى BS أو من مستخدمين تابعين للمحطة العاملة ذاتها في الوقت الذي يكون فيه نطاق التردد الذي يشغله الضجيج/التداخل غير معروف أو متغيراً مع الزمن، ويؤثر هذا التداخل على عمل هذه الأنظمة ويظهر التأثير الأكبر له في مناطق المدن بسبب العدد الكبير من المحطات القاعدية والأجهزة النقالة؛ إذ إنه يعطي جودة تحدث ضعيفة، ومن الممكن أن يسبب فقدان المكالمات الصوتية أو انقطاع الإرسال في حال العمل على شبكة الانترنت بسبب الأخطاء في الإشارات الرقمية.

**الضجيج:** وهو ذو طابع عشوائي؛ إذ 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 التشويش.

**مضاف:** لأنه يضاف إلى أي نوع ضجيج قد يكون موجوداً في النظام.

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

**غوسي:** نظراً لوجود توزع طبيعي في المجال الزمني مع قيمة زمنية متوسطة مساوية للصفر بحيث يمكن وصفه رياضياً عن طريق تابع غوص.

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

### 7.3. أنواع التداخل في الأنظمة الخلوية:

الطيف الترددي ثمين للغاية والحيز الترددي مكلف الشراء؛ إذ تقتضي ندرة الترددات كمورد فيزيائي أساسي، ومحدودية عرض النطاق الترددي المتاح أن يستخدم النطاق الترددي ذاته، وهذا ما يحتم استثمار هذه الترددات وتوزيعها على نحو فعال واقتصادي أمثل بين العديد من مستخدمي

الهاتف المحمول والعديد من التطبيقات المختلفة، لذلك يتم إعادة استخدام التردد في بعض المواقع الجغرافية لتجاوز القيود المتعلقة بسعة الأنظمة وزيادة التغطية؛ إذ يتم في نظام الاتصالات الخلوية ابتداء من الجيل الأول وحتى الجيل الحالي وما سيليه تقسيم الطيف الترددي إلى ترددات وتخصيصها إلى خلايا مختلفة [16]، لذلك انطلاقاً من هذا المبدأ يتوجب توزيع الترددات المتاحة على الخلايا من حيث:

- تحديد الموضع الأمثل لاستخدام كل تردد.
- تحديد المسافة الفاصلة بين خليتين تتشاركان التردد نفسه.

وهذا يسبب نوعين رئيسيين للتداخل في هذه الأنظمة:

### 1.7.3. 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؛ إذ 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 في جودة الإشارة المستقبلية، ولا سيما بالنسبة للمستخدمين على حافة الخلية حيث تكون قوة الإشارة المرغوبة أقل ما يمكن ومن ناحية أخرى تضيق طاقة التداخل هذه ضجيجاً إلى قناة الاتصال مما يحد من كفاءتها، كما يمكن أن يكون لتداخل القناة المشتركة تأثيراً خطيراً في أداء الشبكة قد يؤدي إلى ضعف نوعية الكلام، وانخفاض معدلات البيانات، والتسرب وفقدان المكالمات الصوتية بشكل كامل في بعض الأحيان، ولا يمكن التغلب على هذا التداخل بزيادة طاقة الموجة الحاملة لأن ذلك سيؤدي إلى زيادة التداخل في خلايا القنوات المجاورة، وهذا يؤدي إلى ظهور مشكلة اكتشاف الحامل الزائف، وزيادة مستوى الضجيج الحراري المولد في قناة الاتصال في الوقت الذي يؤدي فيه تخفيض طاقة الإرسال أيضاً إلى تقليص مساحة التغطية، وعلى الرغم من استخدام خوارزميات التحكم بالطاقة والهوائيات القطاعية المدمجة وزيادة طاقة الإرسال، وإنفاص ارتفاع هوائي المحطة القاعدية إلا أن التداخل من الطبقة الأولى يؤخذ بالحسبان؛ إذ يوجد حتماً مستوى معين من التداخل على الإشارة من الخلايا الأخرى التي تستخدم التردد نفسه، بينما يعدّ التداخل الناتج عن الإطار الثاني فما فوق مهماً [15].

وتساهم أيضاً عوامل أخرى مثل سوء تخطيط الشبكات، والظروف الجوية في حالات نادرة مثل الضغط العالي في إحداث تداخل في القنوات المشتركة، ولا يعتمد هذا النوع من التداخل على الطاقة المرسلة إنما هو تابع لنصف قطر الخلية والمسافة إلى مركز أقرب خلية مشابهة حيث تلعب المسافة دوراً مهماً؛ لأن مستوى الطاقة المستلمة ينخفض بزيادة المسافة، أي إن هذا النوع



من التداخل يعتمد اعتماداً كبيراً على خسارة المسار بين المحطتين القاعدتين المتشاركتين بالتردد نفسه، وبالتالي يعطى معامل إعادة استخدام التردد بالعلاقة:

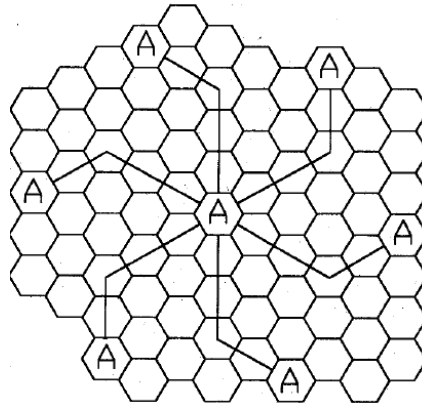
$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N} \quad (3-2)$$

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

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

$$P_r = P_o \left( \frac{d}{d_o} \right)^{-\gamma} \quad (3-3)$$

حيث  $P_o$  هي الطاقة المستقبلية عند مسافة قصيرة  $d_o$  من هوائي الإرسال،  $\gamma$  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  $20\text{dB}/10\text{km}$  [12-13].



الشكل (3-1): إعادة استخدام التردد وتداخل القناة المشتركة.

### 2.7.3. 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 جزءاً من طاقته إلى القنوات المجاورة؛ مما يسبب تداخلاً بين هذه القنوات التي تعمل جغرافياً على مقربة بعضها من بعض؛ إذ يتداخل جزء من طيف التردد بعضه مع بعض بحيث يقع مركز عرض حزمة الإشارة التداخل ضمن عرض حزمة الإشارة المطلوبة، كما تعجز المرشحات المستخدمة في أجهزة الشبكة المختلفة عن حجب كل تسرب محتمل للطاقة من قنوات ترددية مجاورة؛ إذ لا تكون قادرة على استقبال الإشارة المرغوبة وحدها

مما يؤدي إلى حدوث تشويش على هذه القنوات المتجاورة، والذي تزداد طاقته بزيادة عدد المستخدمين النشطين في خلية التداخل ذات القناة المجاورة / أو عندما تصبح المسافة قصيرة بين مستخدمين هاتين الخليتين في أثناء التقل، وهذا يزيد من كلفة دارات الترشيح في المستقبل، ويحتّم استخدام طرق متقدّمة لمعالجة الإشارة [12-13].

وعندما تتم مقارنة ACI مع CCI عند المستوى نفسه من طاقة التداخل فإن تأثير ACI دائماً هو الأقل.

### 8.3. سيناريو التداخل:

إنّ كل محطة قاعدية تتحكّم بالطاقة المرسلة منها إلى المستخدمين داخل الخلية، ولكنها تكون غير قادرة على التحكم بالطاقة المرسلة 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 الخلية (تابع لها) في الوقت الذي تستقبل فيه تداخلات قوية من مواقع الخلايا المشابهة، وتحدث حالة التداخل الأسوأ بين محطتين قاعديتين عندما تقعان بشكل مواجه بعضهما لبعض [56].

أما أسوأ سيناريو تداخل من القناة المجاورة فيحدث عندما تعمل كل من الوحدة المتحركة في المسار الصّاعد والمحطة القاعدية في المسار الهابط بالحد الأعظمي من طاقة الإرسال، وعندما يقترب المشترك في أثناء ذلك كثيراً من المحطة القاعدية التي يتصل معها ضمن خلية التغطية في الوقت الذي تعمل خلاله هذه المحطة على قناة مجاورة، وبالتالي يقوم MS عندئذ بالتأثير على المحطة القاعدية، وعندما يصبح قريباً جداً منها يتمّ التقليل من طاقة الإرسال له من خلال خوارزميات التحكم بالطاقة حتى الوصول إلى الحد الأدنى؛ ممّا يحدّ من مساحة التغطية، ومع ذلك فإنّ الطاقة المنقولة لا تزال أعلى من المستوى المسموح، وهذا ما سيسبب زيادة أعلى في مستوى التداخل عمّا كان متوقّعاً.

يحدّد مقدار طاقة التداخل من القناة المجاورة حسب القيم الموصى بها؛ إذ لكل نظام عتبة معينة يجب عدم تجاوزها عند أي من الترددات المتاحة في النظام، فمثلاً في النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM: Global Systems for Mobile Communications) إذا كان المرسل هو المحطة القاعدية وكانت طاقة الإرسال تقارب 43dBm (20w) فإنّ مستوى الطاقة من القناة المجاورة يجب ألا يتجاوز -60dBm، أمّا في حالة الأجهزة التي تبتّ بطاقة منخفضة كالجهاز المحمول فإنّ المعايير تسمح بمستوى طاقة أعلى، بينما في النظام العالمي للاتصالات السلكية واللاسلكية المتنقلة (UMTS: Universal Mobile Telecommunications System) يكون مستوى الطاقة من القناة المجاورة بحدود -58dBm تقريباً للمسار الهابط و-79dBm للمسار

الصاعد وهكذا بالنسبة لبقية الأنظمة يحدّد مقدار معيّن لطاقة التداخل المسموحة من القناة المجاورة حسب القيم الموصى بها [57]...

وبما أنّ مفاهيم الأجيال مشتركة ابتداءً من الجيل الثاني انتهاءً بالجيل الحالي وما سيليه فالاختلافات الجوهرية بين هذه النظم لا تمس المبادئ الأساسية وإنّما الطرق المتبعة لاستثمار هذه المبادئ وإنجازها على أرض الواقع، إذ إنّ مبدأً وأغراض تعدّد النفاذ مشتركة بين النظم المختلفة أمّا طريقة تحقيقها فهي المختلفة من جيل لآخر، لذلك سوف نختار للدراسة تردّد موجة حاملة يقع ضمن تردّدات نظام GSM كونه المعيار الشّهير والقاعدة الأساسية التي انطلقت منها الأجيال اللاحقة إذ إنّ المبادئ التي تستند إليها بنيته مشتركة في جوهرها بينه وبين النظم الأخرى بالإضافة إلى أنّه يشمل كل ظواهر التداخل الممكن حدوثها في الوقت الذي ينفرد فيه كل جيل لاحق بالتخفيف من بعضها، وهو يستخدم حزمة طيفية مقدارها 25 MHz [57]، حيث نفرض أنّ MS في حال اتّصال مع المحطة القاعدية (مسار صاعد) على التردّد  $f_c = 900\text{MHz}$  في الوقت الذي تستقبل فيه هذه المحطة التردّد ذاته من المحطة القاعدية العاملة على نفس التردّد والواقعة على الإطار الأول.

ثمّ ندرس تداخل الإشارة نفسها مع القناة المجاورة العاملة على التردّد  $f_{(ACC)} = 900.2\text{MHz}$  والذي يبعد عن تردّد الإشارة الأصلية بمقدار 200KHz (عرض القناة في نظام GSM). وبفرض أنّ نصف قطر الخليّة 500m (منطقة مزدحمة)  $N=12$  ، وأنّ MS يبتّ بطاقة تقدّر بحوالي 0.5W؛ إذ يتمّ ضبط مقدار الطّاقة التي تبثّها الأجهزة الخلوية في نظامي GSM و UMTS عن طريق دائرة التّحكّم الموجودة داخل هذه الأجهزة ووفقاً لأوامر التّحكّم المرسلة من المحطة القاعدية المتصلة معها؛ إذ إنّ مساحة التّغطية الأكبر للخليّة تحتاج إلى طاقة إرسال أعلى للهاتف المحمول، وبفرض أنّ MS يقع أيضاً على بعد 400m من هوائي الاستقبال في المحطة القاعدية، وكما ذكرنا سابقاً إنّ خسارة المسار تقدّر بـ 20dB/10km في الفضاء الحر وفي المناطق الأخرى بحوالي 40dB/10km لذلك نعتبرها مهمة في حالتنا هذه كما نهمل تأثير الأنواع الأخرى من الضّجيج والتّداخل، وبالتالي تصل الإشارة اللاسلكية بالقدر نفسه من الطّاقة تقريباً (0.5W) كما تعطى العلاقة بين الاستطاعة المتوسطة للإشارة المستقبلية المرغوبة  $P_s$  ومطالها A كما يلي:

$$P_s = \frac{A^2}{2} \quad (3-4)$$

بالنعويض في العلاقة (3-4) نجد أنّ  $A = 1V$ ، كما نفرض أنّها 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 (3-2) و(3-3) و(3-4) 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 فإن معايير نظام GSM تحدّد 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 (3-4) 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 إشارتا التداخل وتكتب على الشكل الآتي:

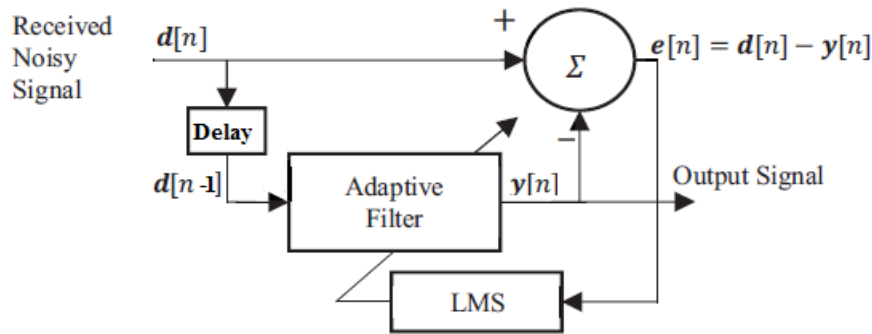
$$d(t) = A \cos(2\pi f_c t) + A_{CCI} \cos(2\pi f_c t + \phi_{CCI}) + A_{ACC} \cos(2\pi f_{(ACC)} t + \phi_{ACC}) \quad (3-5)$$

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

### 9.3. تخفيض التداخل باستخدام المرشح المتكيف:

كما نعلم، إنّ أنظمة الاتصالات اللاسلكية التقليدية تحتوي على مُرسل (TX: Transmitter) ومُستقبل (RX: Receiver) تردد راديوي (RF: Radio Frequency) على حدّ سواء، لذلك خلال المحاكاة وبشكل مشابه لإشارات الزمن الحقيقي فإنّ الإشارة المرسلّة المحاكاة ترسل عبر الوسط الراديوي؛ إذ يضاف التداخل إلى الإشارة المستقبلية في هوائي المحطة القاعدية فنحصل على الإشارة المشوشة (المرغوبة  $d(n)$ ) ونستخدم في هذه الحالة هوائياً واحداً بمنزلة حسّاس لاستقبال هذه الإشارة المرغوبة، وعند تقطيع هذه الإشارة المستمرة نحصل على الإشارة المنقطعة والتي هي عبارة عن تتابع القيم التي تملكها الإشارة المستمرة عند لحظات زمنية متباعدة بشكل متساو، وإنّ عملية قياس هذه القيم تدعى التقطيع والقيم تدعى العينات، وبالتالي تمثل هذه الإشارة المنقطعة زمنياً بشكل ثنائي ومن ثمّ تعالج بواسطة المرشح المتكيف، وبسبب عدم توافر الإشارة المرجعية في مثل هذه الحالات نستخدم دائرة تأخير أيضاً؛ لأخذ نسخة مؤخّرة من الإشارة المرغوبة واستخدامها بمثابة إشارة مرجعية لدخول المرشح المتكيف ( $x(n) = d(n - 1)$ ) (الشكل (3-2))، 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 المؤخرة، بينما يتم تعديل فرق الطور بين المكونات الحبيبية 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 خوارزمية LMS وتحديث أوزان المرشح، وتستمر الخوارزمية بالتحديث حتى يصبح الفرق بين الإشارة  $e(n)$  والإشارة الأصلية (المرسلة) أصغر ما يمكن، وعندما تتقارب مركبات المرشح تلغي إشارة التداخل بشكل كامل [58]، وفي هذه الحالة لا يعتمد الترشيح المتكيف على توافر جيد للمدخلات المرجعية المترابطة حيث يتمكن من توقع الإشارة الأصلية بدون معرفة مسبقة للإشارات المتداخلة معها أو حتى توافر الإشارة المرجعية، لذلك يعمل المرشح المتكيف في هذه الحالة على مبدأ التنبؤ، فيكون قادراً على تعزيز قابلية كشف الموجات الكهرومغناطيسية منخفضة المستوى للغاية والمتداخلة مع الإشارة الأصلية، وقد تم اختيار خوارزمية LMS لقيادة المرشح التي تعطي الأداء الأفضل مع تعقيد حسابي منخفض ومعدل تقارب سريع.

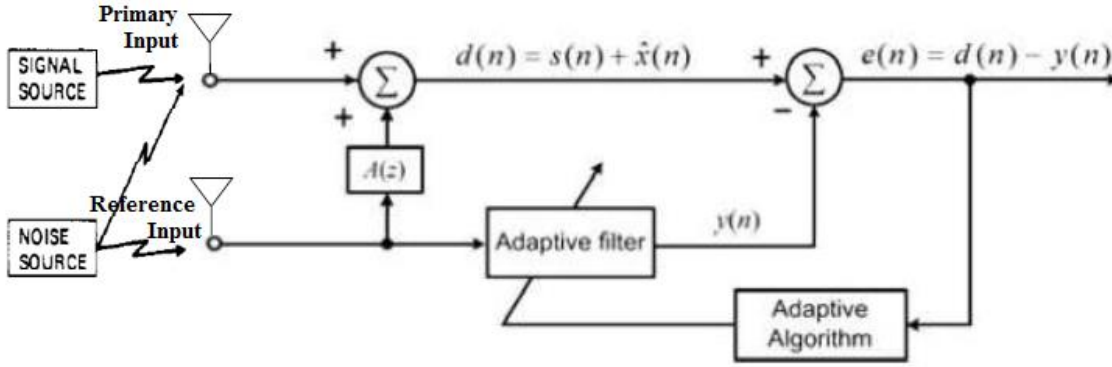


الشكل (2-3): تخفيض التداخل بواسطة المرشح المتكيف الذي يعمل على مبدأ التنبؤ.

وفي حالتنا هذه استخدمنا النسخة المؤخرة من الإشارة المرغوبة كإشارة مرجعية؛ إذ تستخدم هذه الطريقة في حال صعوبة الحصول على الإشارة المرجعية [59]، بينما توجد طرق أخرى للحصول عليها يمكن أخذها بالحسبان في أثناء التصميم مثل استخدام هوائي إضافي لاستقبال إشارة التداخل حيث يتوضع عند المصدر الرئيس للتداخل في حال معرفة اتجاهه، ويدمج في الوقت نفسه مع المرشح المتكيف، ويكون عرض شعاعه ضيقاً ووريقتة الرئيسية موجهة مباشرة إلى مصدر التداخل (حيث تكون الإشارة الأصلية غير موجودة أو ضعيفة بما يكفي لعدم قابلية كشفها)، ومن ثم يتم إرسال قياس إشارة التداخل المقدرة عبر المرشح المتكيف بينما يتم استقبال الإشارة الأصلية مع إشارة التداخل من قبل الهوائي الأساسي، وطالما أن مصدر التداخل هو نفسه في كلا الهوائيين، فإن إشارة التداخل عند مدخل الهوائي الأساسي والإضافي ستكون مرتبطة حكماً بعضها مع بعض وبدون ذلك لن يكون المرشح قادراً على إلغاء/ تخفيض التداخل.

### 10.3. تخفيض 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 الفصل الثاني والموضح في الشكل (16-2) إذ يلعب الهوائي في نظامنا الخلوي دور الحساس، وسنتناول في بحثنا هذا تخفيض الضجيج من نوع الغوسي الأبيض المضاف الذي يحاكي العمليات العشوائية التي تتعرض لها الإشارة الخلوية اللاسلكية عبر الوسط الراديوي كما أنه 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 يحدد العلاقة بين هذا الضجيج المرجعي ومركبة الضجيج المرتبطة مع الإشارة المقاسة، أو يمكن استخدام هوائيين أحدهما يتوضع على المدخل الأولي، ويستقبل الإشارة مع الضجيج المحيط التي تعبر عن الإشارة المشوشة، وهي تتألف من الترددات الجيبيّة المتعددة مضافاً إليها الضجيج العشوائي الغوسي، بينما يتوضع الهوائي الثاني على المدخل الثانوي ويستخدم كهوائي مرجعي لاستقبال الضجيج المحيط فقط، وطالما أنّ هذا الضجيج المحيط يلتقط من قبل الهوائيين المتباعدين والمرتبطين بعضهما مع بعض فإنّ مهمة المرشح المتكيف تكمن في قدرته على ضبط خصائصه بالاعتماد على هذا الارتباط بين هذه الإشارات المستقبلية، ومن ثمّ فإنّ إشارة الضجيج المحيط الملتقطة بوساطة الهوائي الثاني، والتي تستخدم كدخل مرجعي للمرشح تؤزّن عن طريق الاستجابة النبضية للمرشح المتكيف لمحاكاة إشارة الضجيج المستقبلية في المدخل الأولي ومن ثمّ يطرح خرج المرشح من الإشارة المرغوبة  $d(n)$  (الإشارة المستقبلية بواسطة الهوائي الأول) لنحصل على الإشارة  $e(n)$  التي تستخدم لتحديث مركبات المرشح [60]، يظهر الشكل (3-3) لاغي الضجيج المتكيف (ANC: Adaptive Noise Cancellation) المستخدم لتخفيض الضجيج الغوسي الأبيض المضاف، كما توجد طريقة أخرى أيضاً للحصول على الإشارة المرجعية تستخدم تقنيات استشعار الطيف المعتمدة على اكتشاف الطاقة إذ تقوم بإجراء قياس دوري لمقدار نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR عن طريق خوارزمية معينة ومقارنة القيم المقاسة مع عتبة معينة (قيمة حدية) تتم مقارنة الإشارات المستشعرة (المحسوسة) على أساسها لتقييم مدى توافر الإشارات، ويتم اختيار إشارة دون هذه العتبة كإشارة ضجيج مرجعي، وهذه الطريقة تكفي بادرة استقبال واحدة غير أنّ أداءها لا يؤدي في كثير من الأحيان النتائج المثلى المرجوة.

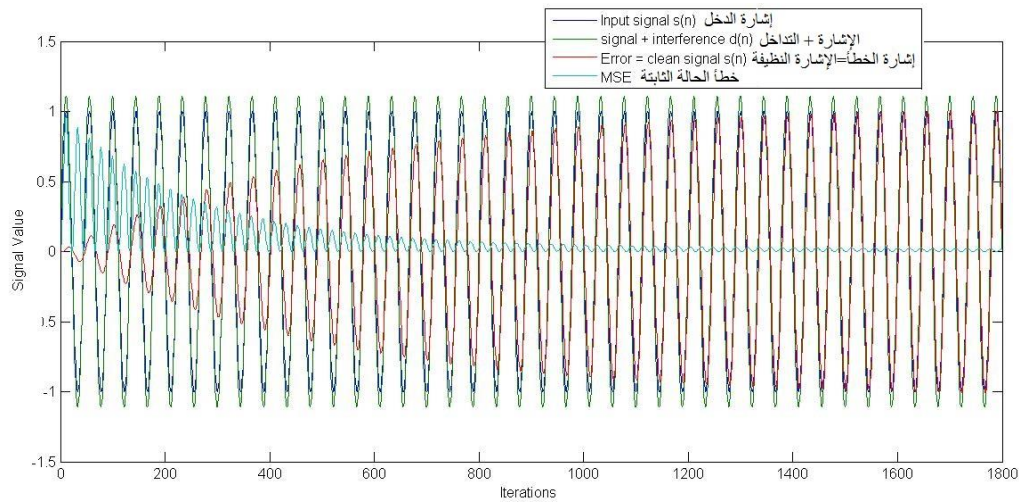


الشكل (3-3): تخفيض الضجيج الغوسي الأبيض المضاف AWGN باستخدام المرشح المتكيف.

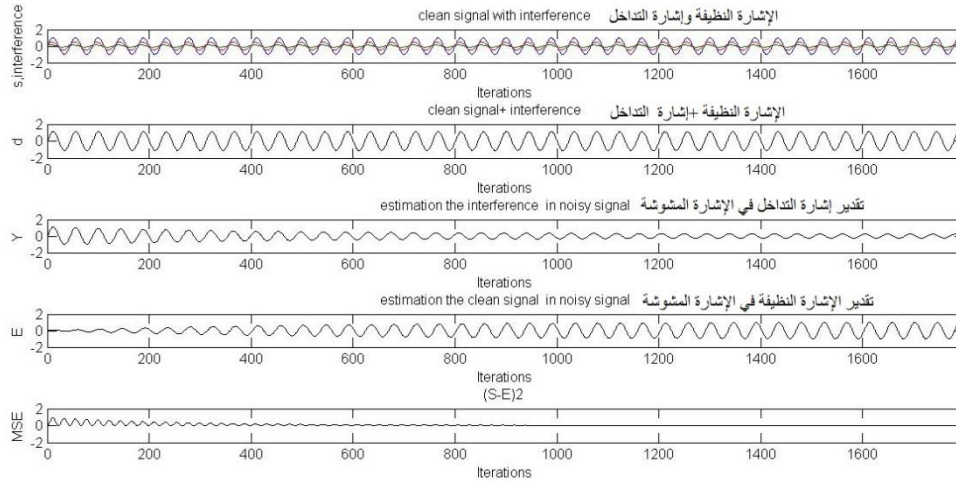
### 11.3. النتائج والمناقشة:

#### 1.11.3. حالة التداخل:

بعد تعويض القيم المحسوبة في العلاقة (3-5) نقوم بتطبيقها على المدخل الرئيس للمرشح المتكيف ذي 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 سابقاً مع الأخذ بعين الاعتبار أن الوزن الابتدائي مساو للصفر  $(W(0) = 0)$ .



(a)



(b)

الشكل (3-4): تخفيض تداخل القناة المشتركة والقناة المجاورة معاً باستخدام المرشح المتكيف.

ونلاحظ من نتائج تطبيق الخوارزمية في الشكل (3-4) 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 ، وهذا متوافق مع نتائج إحدى الدراسات المرجعية [61] التي توضح أحد تطبيقات عمل المرشح المتكيف، وهو التنبؤ الخطي بغض النظر عن النظام المطبق فيه وباستخدام خوارزمية LMS، ويتم فيها الحصول على إشارة الخطأ المطابقة لإشارة الدّخل بعد حوالي 5000 تكرار، مع الأخذ بالاعتبار أن  $L = 7$ ،  $\mu = 0.01$ ،  $\mu$ ، مطال الإشارة = 10 V.

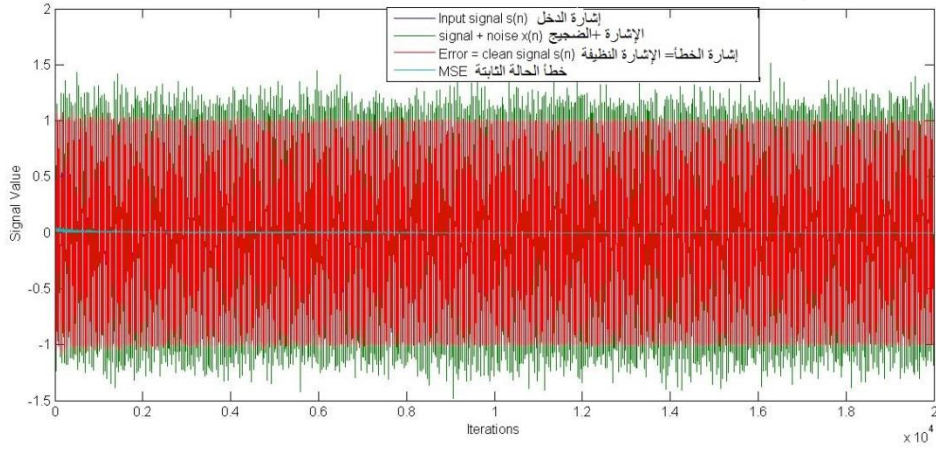
### 2.11.3. حالة الضجيج الغوسي الأبيض المضاف:

ندرس أيضاً مرشح LMS ذا الطول ( $L = 10$ ) إشارة دخله عبارة عن الإشارة المستقبلية في المحطة القاعدية من MS العامل على التردد الصّاعد 900MHz والتي تُعطى بالعلاقة الآتية:

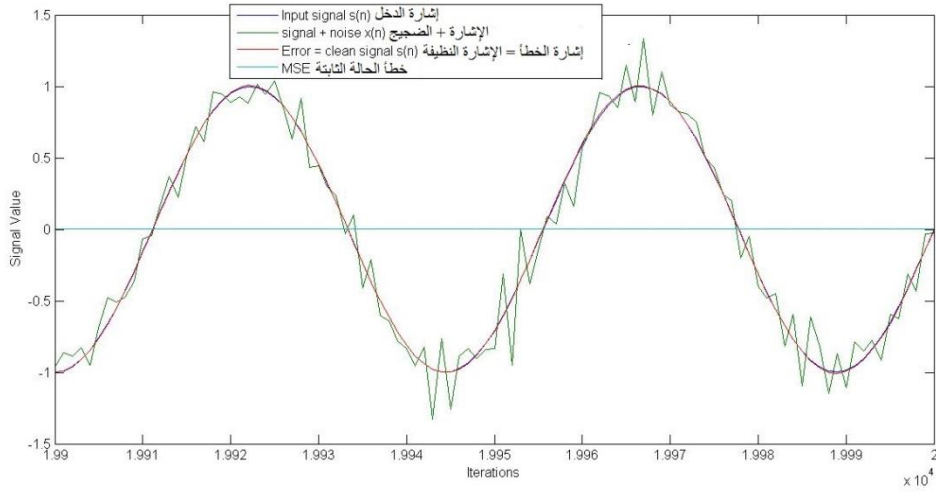
$$d(t) = A \cos(2\pi f_c t + \varphi) \quad (3-6)$$

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





الشكل (3-5-a): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لتخفيض الضجيج الغوسي الأبيض المضاف.



الشكل (3-5-b): تقريب للنتائج التي تظهر في الشكل (3-5-a).

ونلاحظ من الشكل (3-5-a) أن المرشح يتقارب بسرعة كبيرة بعد عدد قليل من التكرارات، كما أن تزايد قيم خطأ الحالة الثابتة (EMSE: Excess Mean Square Error) منخفض والخوارزمية مستقرة كما هو موضح في الجدول (3-1)، وإن قيم MSE التي تم التوصل لها في التكرارات الأخيرة بحدود -40dB وهذا منسجم مع الدراسات المرجعية [61] التي تناولت تخفيض هذا النوع من الضجيج باستخدام خوارزمية LMS وتم فيها الحصول على قيم MSE بحدود -35dB عندما  $\mu = 0.0002$ ،  $L = 5$  وعدد تكرارات = 50000، كما تم الحصول في دراسة أخرى [5] على قيم MSE بحدود -30dB عندما  $\mu = 0.005$ ،  $L = 10$  وعدد تكرارات = 10000 تكرار.

الجدول (3-1): تزايد خطأ الحالة الثابتة MSE عند تخفيض الضجيج الغوسي الأبيض المضاف باستخدام

خوارزمية LMS.

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

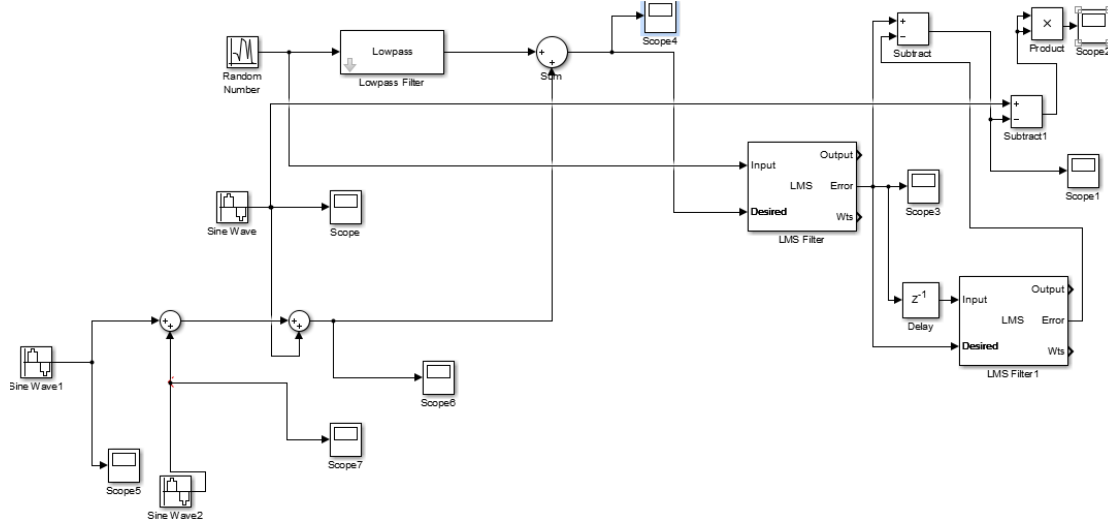
### 12.3. الاستنتاجات:

لقد حقق المرشح المتكيف نجاحاً عند عمله على مبدأ التنبؤ لتقدير إشارات التداخل المتراكبة على الإشارة الأصلية باستخدام مجموعة من التتابع المحددة مسبقاً، وبالاعتماد على معرفة التردد الثابت لها والمعلومات المتغيرة أيضاً التي يتم الحصول عليها مباشرة في أثناء عمل المرشح من أجل إيجاد مطال إشارات التداخل هذه وطورها بشكل صحيح، ثم قام بحذفها من الإشارة المشوشة للحصول على الإشارة الأصلية بعد حوالي 1800 تكرار، ونظراً لكون خوارزمية LMS بسيطة ومنخفضة التعقيد الحسابي فإن ذلك يتم في زمن قصير جداً، وبشكل ملائم للتطبيق في الزمن الحقيقي، كما أن قيمة MSE عند التكرار 1800 تكون من رتبة  $10^{-4}$ ، وهذا يدل على مقدار التناطبق 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 الطبيعة نفسها معاً باستخدام مرشح متكيف واحد مما يعطي مرونة في التصميم.

كما أن عمل المرشح المتكيف كلاجي ضجيج حقق قيمة منخفضة جداً لـ MSE كما يظهر في الجدول (3-1) وبخاصة عند التكرارات الأخيرة، بالإضافة إلى أن الخوارزمية تقاربت (الوصول إلى التصميم المثالي) بعد حوالي 1300 تكرار، وهذا يقود إلى أن حجم الخطوة وعدد التكرارات يلعبان دوراً أساسياً في زمن التقارب، وقيم MSE وهذا ما يتم أخذه بالحسبان في أثناء التصميم وبمقارنة هذه القيم لحظة تقارب الخوارزمية، وفي نهاية عملها نجد أن MSE قد تحسنت بمقدار 97.7187% بحيث يمكن لهذا المرشح أن يعمل في ظروف الضجيج السيئة جداً.

### 13.3. التطبيق العملي:

يمكن الحصول على النتائج التي تظهر إمكانية استخدام المرشح المتكيف لتخفيض تداخل القناتين المشتركة والمجاورة وتأثير ضجيج غوص الأبيض معاً باستخدام نموذج محاكاة الماتلاب المبين في الشكل (3-6).



الشكل (3-6): نموذج المحاكاة لتخفيض التداخل والضجيج معاً.

يتألف نموذج المحاكاة من العناصر الآتية:

**مولّدات الإشارات الجيبية:** تولّد الإشارة الأصلية وإشارات التداخل المترابطة معها، كما نستخدم دارتي جمع لجمع هذه الإشارات الثلاثة مع بعضها.

**مصدر إشارة الضجيج  $n_1$ :** وهو ضجيج غوص الأبيض ذو قيمة متوسطة صفرية وانحراف يساوي  $\sigma = 0.36$  ويستخدم كدخل للمرشح الأول.

**مرشح تمرير منخفض:** من نوع FIR ذي الرتبة العاشرة يُستخدم لتوليد ضجيج ثاني  $n_2$  مرتبط بمصدر الضجيج  $n_1$ .

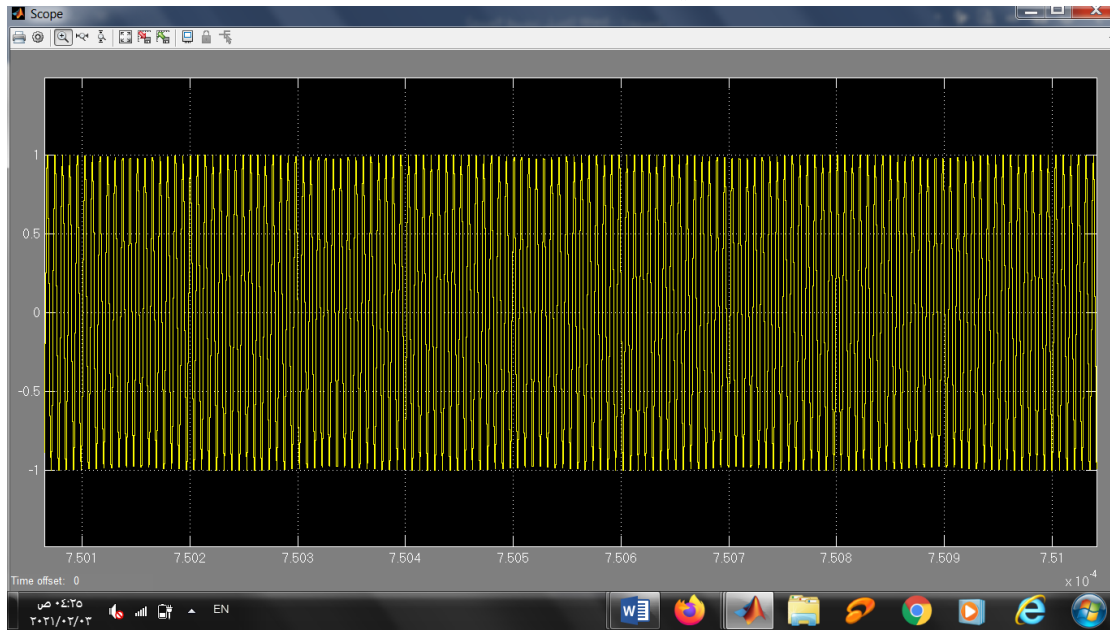
**دائرة الجمع:** تستخدم لإضافة إشارة الضجيج  $n_2$  إلى مجموع الإشارات الثلاثة السابقة من أجل توليد الإشارة المرغوبة، على اعتبار أنّ ضجيج غوص الأبيض يمكن أن يضاف إلى أي نوع تداخل أو ضجيج موجود في النظام، وهو ضجيج تراكمي يضاف أيضاً إلى مطال الإشارة في كل لحظة زمنية.

**ثابت:** يخزن قيمة حجم الخطوة لكل خوارزمية LMS على حدة.

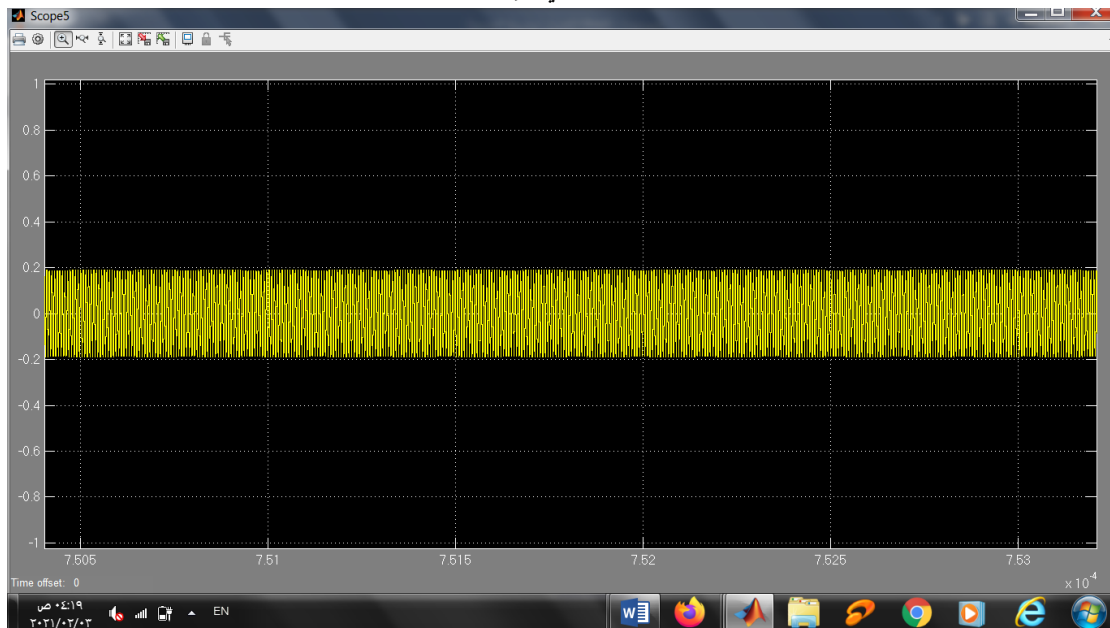
**مفتاح التشغيل/إيقاف التشغيل on/off:** يقوم بتنفيذ أو عدم تفعيل منفذ التكيف الخاص بالمرشح، ويكون منفذ التكيف هذا مسؤولاً عن تشغيل/إيقاف تشغيل تكيف أوزان نقاط تفرّع المرشح  $W(n)$ . **المرشح المتكيف:** يحتوي على جميع المداخل والمخارج الضرورية وبعد دخول الإشارة إلى المرشح تحول إلى رقمية عن طريق دائرة ADC: Analog to Digital Converter (محول من تماثلي

إلى رقمي) الموجودة ضمن المرشح، وقد تمّ استخدام مرشحين متكيفين يعملان وفق خوارزمية LMS موصولين على التسلسل، يعمل المرشح الأول على إزالة أثر الضجيج الغوسي بينما يقوم المرشح الثاني بإزالة آثار التداخل الناتجة عن القناة المشتركة والمجاورة.

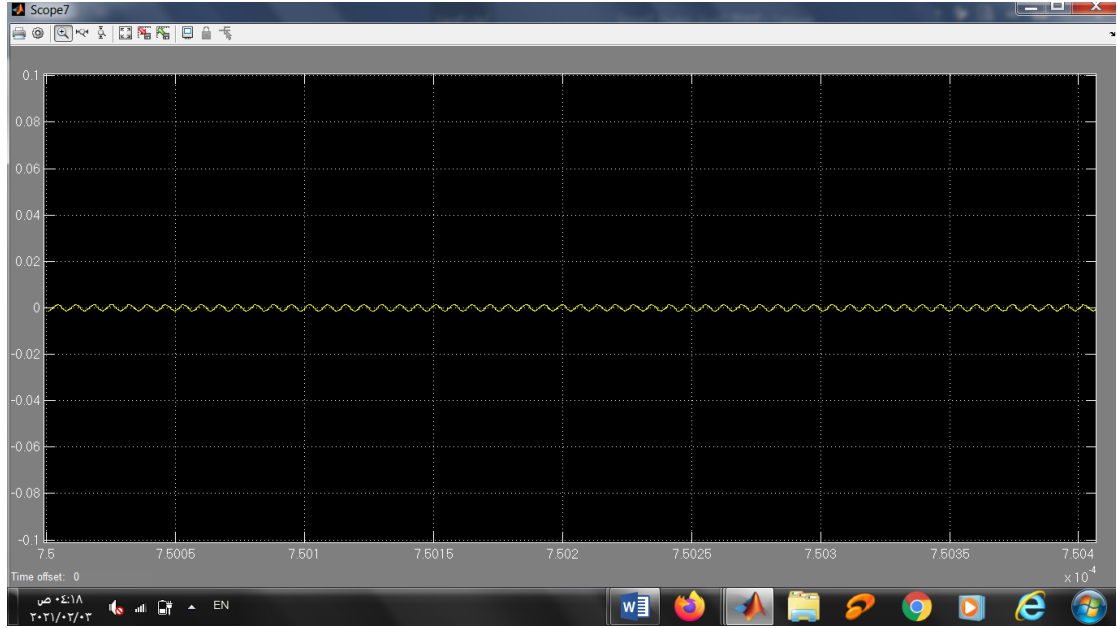
**الخطأ المربع:** يكون الجامع مسؤولاً عن حساب الخطأ بين إشارة الدّخل الأصلية  $s(n)$  وإشارة الخطأ  $e(n)$  ثمّ يتمّ بعد ذلك تربيع هذه الإشارة الناتجة باستخدام كتلة الضارب. **رسم الإشارة:** ضروري لإظهار المداخل جميعها في الزمن الحقيقي في نافذة رسومية، وتبيّن الأشكال التالية منحنيات الإشارات التي تظهر على هذه الرواسم:



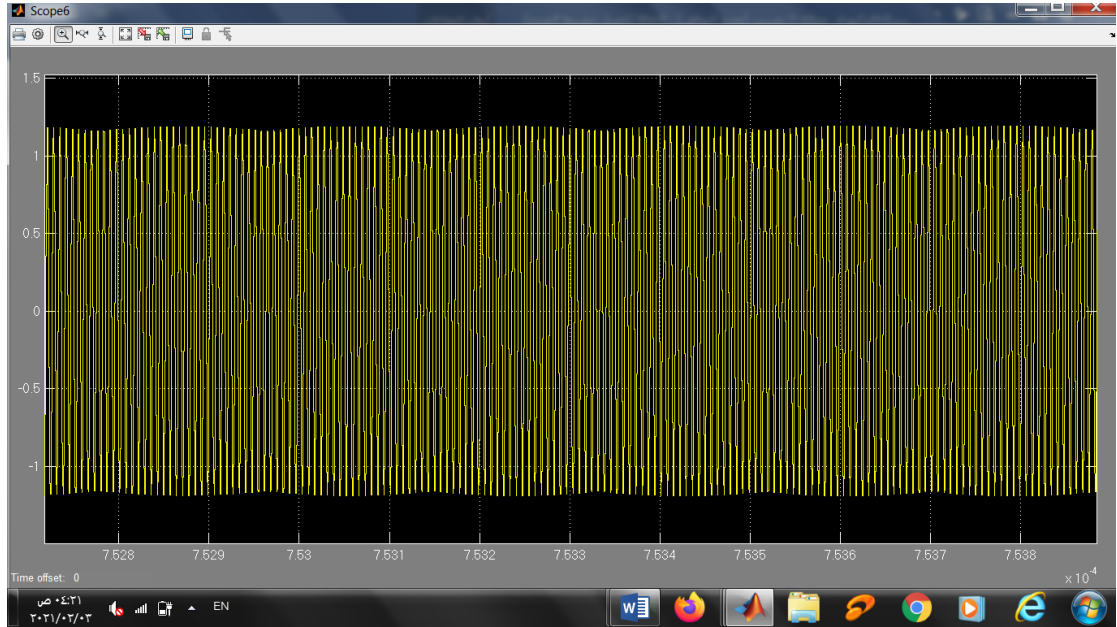
الشكل (3-7): منحنى الإشارة النّظيفة.



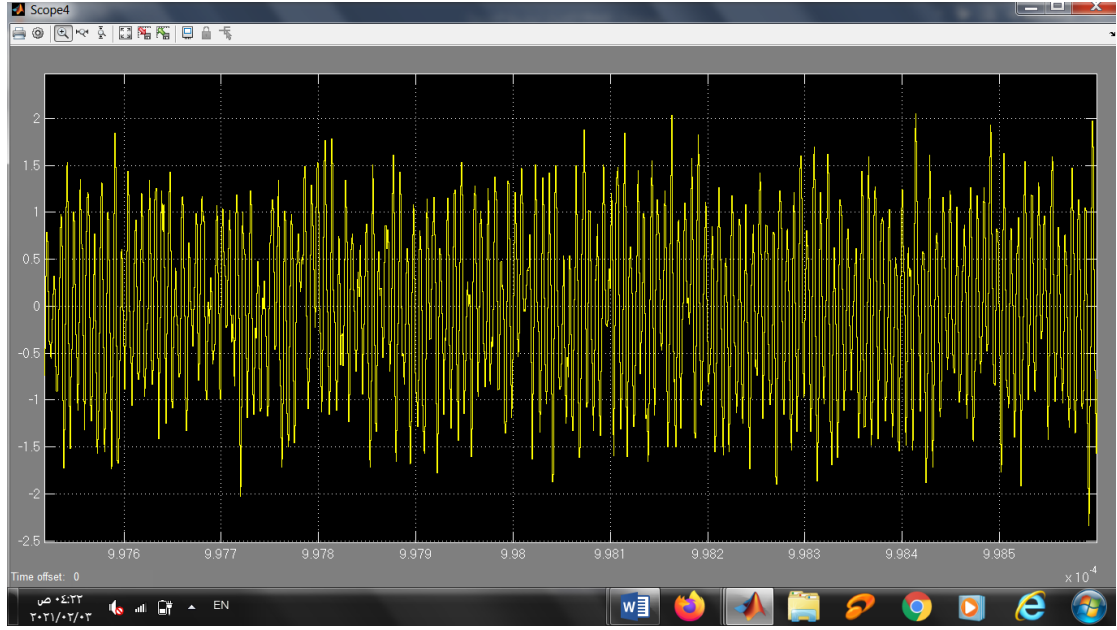
الشكل (3-8): منحنى إشارة تداخل القناة المشتركة.



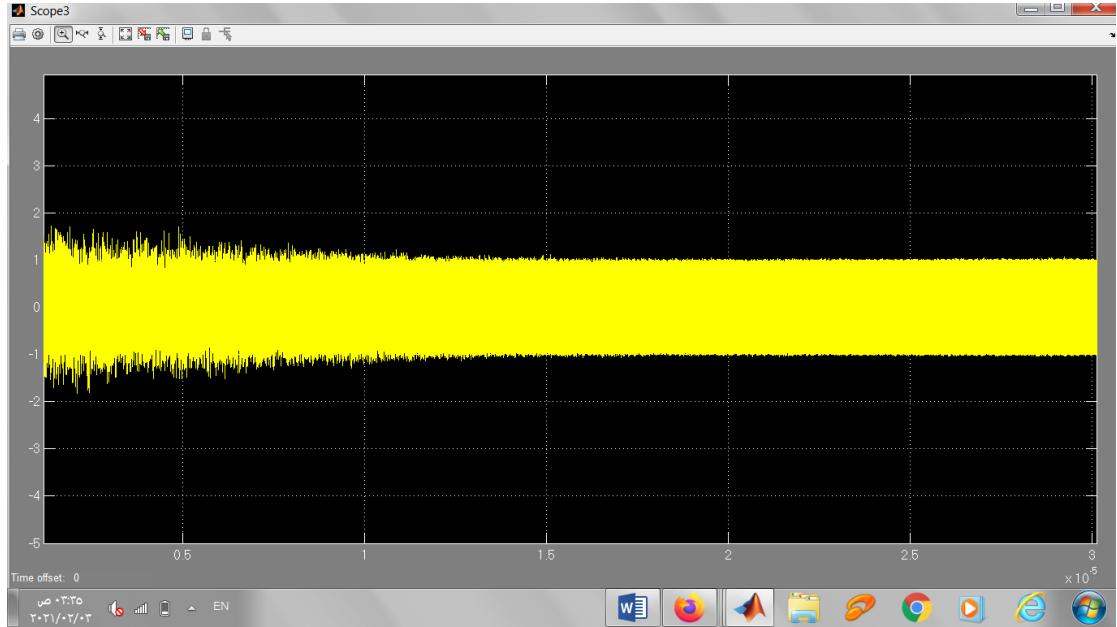
الشكل (3-9): منحنى إشارة تداخل القناة المجاورة.



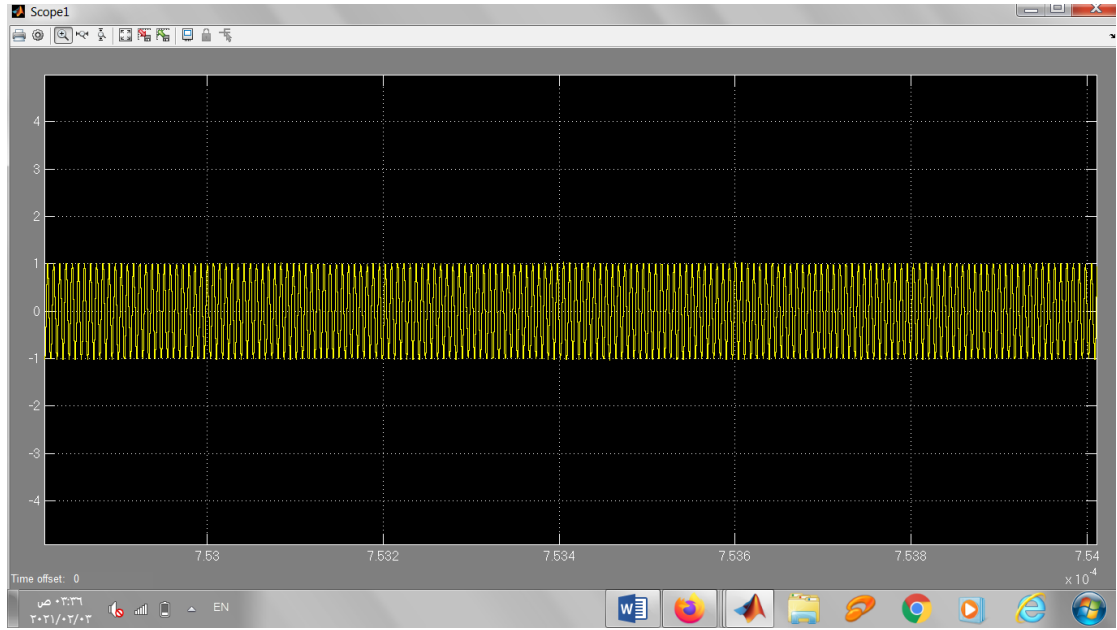
الشكل (3-10): منحنى الإشارة النظيفة مضافاً إليها إشارتنا التداخل.



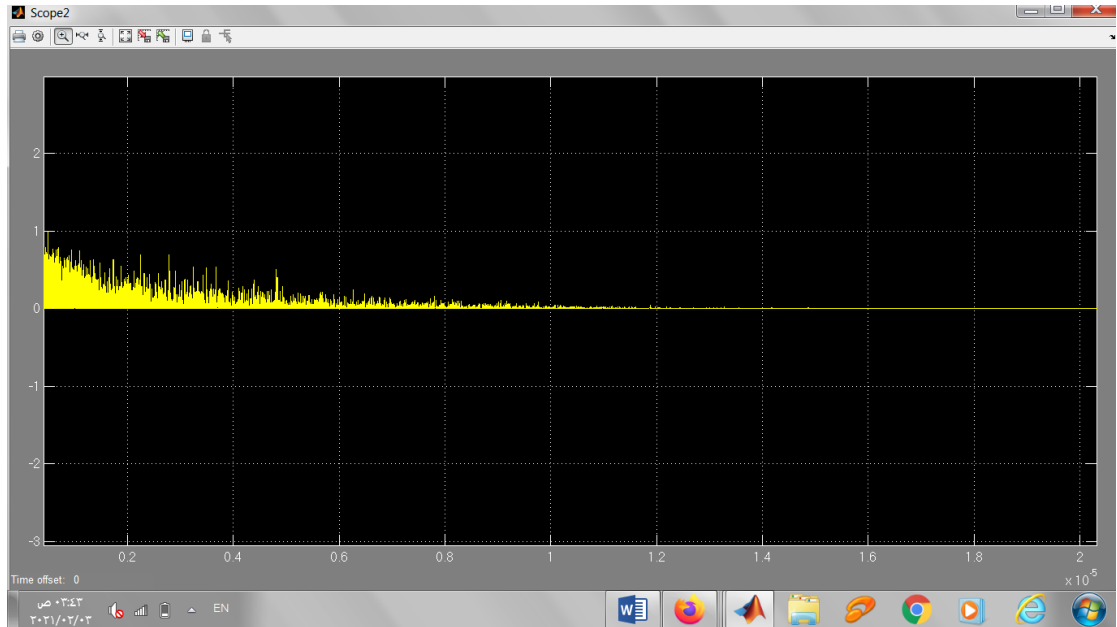
الشكل (3-11): منحنى الإشارة المشوشة (الإشارة النظيفة + إشارات التداخل + إشارة الضجيج).



الشكل (3-12): منحنى الإشارة المشوشة بعد إزالة الضجيج منها.



الشكل (3-13): منحني إشارة الخطأ (الإشارة المرشحة).



الشكل (3-14): منحني خطأ الحالة الثابتة MSE.

### 14.3. استخدام المرشح المتكيف كمرشح شقوق لتخفيض تداخل القناة المجاورة:

مرشح الشقوق بشكل عام هو مرشح منع يمرر القسم الأعظم من الترددات من دون تغيير، ويخمد في الوقت نفسه الترددات الأخرى الموجودة في نطاق محدّد ضيق إلى مستويات منخفضة جداً مشكلاً شقاً في استجابة الخرج للمرشح، وبالتالي يمكن اعتباره مرشحاً ذا حزمة إيقاف (منع) ضيقة جداً (منحني حاد) وذات تخميد عالٍ مع عامل جودة  $Q$  مرتفع، أمّا مرشح الشقوق المتكيف فهو نوع آخر من المرشحات الذي يستخدم لتخفيض إشارة التداخل ذات التردد المعروف، والمطال والطور غير المعروفين، وهو يستخدم كنتيجة لخاصية تغيير أو انزياح التردد للإشارة غير المرغوبة بمرور الزمن والتي تؤدي إلى جعل تردد الشق غير معروف، وهذا ما يجعل استخدام النوع المتكيف من مرشحات الشقوق مطلوباً في هذه الحالة من أجل المحافظة على عرض حزمة الإشارة بدون تشوّه وإزالة التداخل ضيق الحزمة فقط عن طريق ترشيح الإشارات المترابطة باستخدام إشارة مرجعية [19].

إنّ أحد الجوانب المهمة لمنهجية مرشح الشقوق عند استخدامه في معالجة الإشارة هو قدرته الانتقائية العالية على التخميد عند تردد معيّن موافق لتردد الشق خلال مدة استجابة عابرة قصيرة (منحنٍ حاد) مع تخميد قليل جداً (لا يكاد يُذكر) عند بقية الترددات الأخرى؛ إذ تعمل الخوارزمية المستخدمة على تقدير تردد الإشارة غير المرغوبة وتحقيق خصائص مرشح الشقوق عند هذا التردد وتحديث وفقاً لذلك مركّبات المرشح من أجل تحقيق الأداء الأمثل، وبالتالي يكون هذا النوع مفيداً من أجل تخفيض الضجيج/التداخل عند تردد معيّن من الإشارة المفيدة بفعالية في الزمن الحقيقي؛ أي أنّه يمكن القضاء بفعالية على إشارة التداخل بين ترددين معروفين مختلفين عن طريق مرشح الشقوق المتكيف، كما يمكن استخدام مرشح الشقوق المتعدّد لتخميد إشارة الضجيج/التداخل الموجودة عند ترددات مختلفة في آنٍ واحد عن طريق الملاحقة المتكيفة لهذه الترددات، وبالتالي نحصل على إشارات مرشحة متوافقة مع الإشارات المفيدة المقابلة بشكل جيد [62-63].

عندما تكون حساسية المرشح للتحديث صغيرة جداً فهذا يؤدي إلى عدم الاستقرار، كما أنّ القيمة الكبيرة لهذه الحساسية تؤدي إلى انخفاض أداء الملاحقة، وهذا ما يجعل مرشح الشقوق التقليدي مفيداً فقط بشرط بقاء التردد ثابتاً، وفي مثل هذه الحالات فإنّه من الضروري قياس تردد التداخل ببعض الطرق بشكل دقيق ومن ثمّ تصميم مرشح الشقوق الثابت المتمركز تماماً عند ذلك التردد، وهذا ما يجعل استخدام مرشح الشقوق الثابت غير ممكن في التطبيقات التي يسبب فيها التداخل الجيبي المتراكب على الإشارة الأصلية انحرافاً بطيئاً في التردد، كذلك الأمر عندما يكون تردد التداخل غير معروف بشكل دقيق ومتغيراً مع الزمن، وعرض حزمة مرشح الشق ضيقاً جداً، فإنّ مركز الشق قد لا ينطبق تماماً على تردد التداخل، وسيفشل مرشح الشقوق الثابت في إزالة التداخل



من الإشارة إنما قد يؤدي إلى إلغاء بعض مكونات التردد الأخرى لها، وبالتالي تشوهها ويساهم ذلك في زيادة مستوى الضجيج [64].

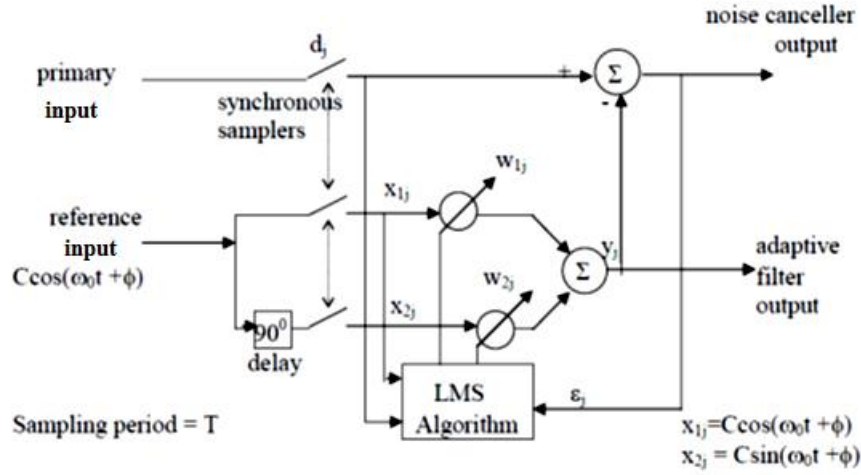
لذلك يستخدم مرشح الشقوق المتكيف ذو عرض حزمة التداخل الضيقة جداً (شق حاد) ليرشح التداخل بدون إحداث تشوه في الإشارة، إذ إن الشق الثابت لا يمكن أن يعمل هنا على الإطلاق ما لم يتم تصميمه على مجال واسع بما فيه الكفاية من الترددات لتغطية الانحراف مع التشوه الحاصل على الإشارة، وفي الوقت نفسه يجب أن تكون عرض حزمة الشق غير كبيرة؛ لأن مرشح الشقوق ذو عرض الحزمة الترددية الكبيرة غير مرغوب فيه؛ لأنه قد يؤثر في إشارات أخرى لا نرغب بتخميدها.

يتفوق مرشح الشقوق المولف المتكيف (ATWF: Adaptive Tunable Notch Filter) على مرشح الشقوق المتكيف التقليدي (ANF: Adaptive Notch Filter) في قدرته على تغيير تردد الشق وإمكانية توليفه على مجال التردد الموافق لحدوث الضجيج/التداخل، وبالتالي سيكون له القدرة على ملاحقة التغيرات الترددية في إشارة الدخّل بدقة، والبحث بشكل أوتوماتيكي عن إشارة التداخل الموجودة عند تردد معين؛ إذ يتم ضبط استجابته الترددية بشكل تلقائي اعتماداً على ظروف طرق الإرسال من أجل تحقيق خصائص مرشح الشق عند هذا التردد لإزالة الإشارة غير المرغوبة مع ترك مصدر الإشارة دون تشوه وهذا يسمح بزيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR، وبالتالي لجعل تشوه الإشارة المرغوبة أقل ما يمكن، فإن حزمة التخميد لمرشح الشقوق المتكيف يجب أن تكون ضيقة قدر الإمكان، وهذا يتطلب تصميم شق ضيق جداً ذي خصائص رفض شديدة عند تردد الشق من أجل ترشيح التداخل من دون إحداث تشوه في الإشارة، لكن السيئة التي تعاني منها هذه المرشحات المتكيفة هي أن تخميدها عند تردد الشق يتغير في أثناء عملية التكيف، وبالتالي فإن التخميد القوي بالدرجة المطلوبة لإشارة الضجيج/التداخل عند تردد الشق لا يكون مضموناً في جميع الأحيان، إنما نحصل على قيمته الفعلية في أثناء عملية التكيف؛ لذلك يصمم مرشح الشقوق المقترح بجعل تردد الشق متغيراً، بحيث يتم إرسال قيمة التردد اللحظي إلى نظام الترشيح وتستمر عملية ضبط تردد الشق وفقاً لتردد الإشارة القادمة إلى الهوائي في الزمن الحقيقي حتى الوصول إلى القيمة المطلوبة لتردد المنع، كما يتم تحديد عرض حزمة المنع والتخميد الأعظمي الممكن تحقيقه عند تردد الشق بالاعتماد على الحسابات المستخدمة في أثناء تصميم المرشح، لذلك تستند منهجية المعالجة الفعالة على استخدام مرشح الشقوق المتكيف ذي الاستجابة النبضية المحدودة من النوع المستعرض، والذي يتميز بعرض حزمته الضيق جداً من أجل الحصول على عرض حزمة الشق المثالية التي تسمح بتحقيق تخميد قوي عند تردد الشق، وبالتالي يعدّ مرشح FIR المستعرض هذا الأفضل من حيث تحقيقه لطول المرشح الأقصر المرتبط مع الخصائص الترددية المطلوبة من المرشح [20-21].

يمكن استخدام المرشح المتكيف كمرشح شقوق مولف عند تردد القنوات المجاورة للقناة المراد انتخابها وهذا يساهم في الحد من تأثيرها والحصول على إشارة نظيفة عند مدخل هوائي الاستقبال.

### 15.3. مبدأ عمل مرشح الشقوق المتكيف:

لفهم عملية تخفيض الضجيج/التداخل باستخدام مرشح الشقوق المتكيف ندرس حالة الإلغاء لتردد واحد مع وزنين متكيفين كما هو موضح في الشكل (3-15).



الشكل (3-15): استخدام المرشح المتكيف كمرشح شقوق لتخفيض التداخل بالاعتماد على خوارزمية LMS. حيث يتألف المدخل الأولي من الإشارة الأصلية (الإشارة الحاملة للمعلومات) مع إشارة التداخل الجيبي ذات التردد  $\omega_0$  (ويُسمى مجموع هاتين الإشارتين بالإشارة المرغوبة  $d_j$ ).

أما المدخل المرجعي فيتألف من إشارة لها تردد إشارة التداخل نفسه بينما يتم اختيار مطالها وطورها بشكل كافي، ويمكن من خلالهما التحكم بعرض حزمة الشق، لذا يجب اختيارهما بشكل دقيق، وبالتالي نفرض أن طاقة الضجيج/التداخل متركزة في مجال ترددي معين يمكن تقديره للحصول على الإشارة المرجعية التي تعطى بالعلاقة:  $C \cos(\omega_0 t + \phi)$ ، حيث  $\omega_0$ : تردد الإشارة المرجعية الموافق لتردد إشارة التداخل،  $C$ : مطال الإشارة المرجعية،  $\phi$ : طور الإشارة المرجعية، إذ إنه من الأسهل الحصول على الإشارة المرجعية من الضجيج ضيق الحزمة أكثر من الضجيج عريض الحزمة، وتقطع إشارات المداخل الأولية والمرجعية عند التردد  $\Omega = 2\pi/T$  rad/s، حيث  $T$ : زمن التقطيع، وبالتالي يتم الحصول على الإشارة عند أحد مداخل نقطتي التفرع للمرشح عن طريق تقطيع إشارة المدخل المرجعي بشكل مباشر، أما إشارة مدخل نقطة التفرع الثانية، فنحصل عليها عن طريق تقطيع نسخة مزاحة طورياً بمقدار  $90^\circ$  عن الإشارة المرجعية [65]، ونعبر عن علاقة الإشارات عند مدخلي نقطتي التفرع للوزنين على الشكل الآتي:

$$x_{1j} = C \cos(\omega_0 T + \phi) \quad (3-7)$$

$$x_{2j} = C \sin(\omega_0 T + \phi) \quad (3-8)$$

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

ثم تتكيف مركبات المرشح لملاحقة إشارة التداخل عند التردد الواجب تقديره (التنبؤ به) والذي يقع في مركز الشق عن طريق استخدام مركبات المرشح المثالية المحسوبة عند ذلك التردد، لذلك تستمر الخوارزمية بالتقارب حتى تصل إلى التردد الصحيح، وهذا يؤدي إلى ترشيح الإشارة المرجعية بشكل متكيف لتعطي في خرج المرشح إشارة مطابقة قدر الإمكان لإشارة التداخل الجيبي، ويساهم ذلك في ترشيح إشارة التداخل هذه (منع مرورها) وتحسين الاستجابة الترددية لمرشح الشقوق من أجل رفض التداخل المترابط، وتكون علاقة إشارة خرج المرشح من أجل كل وزن:

$$y_{1j} = w_{1j} x_{1j} \quad (3-9)$$

$$y_{2j} = w_{2j} x_{2j} \quad (3-10)$$

$w_{1j}$  ،  $w_{2j}$ : الوزن الابتدائي عند نقطة التفرع الأولى والثانية على الترتيب ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$w_{1j} = 2 \mu C \cos(\omega_0 T + \phi) \quad (3-11)$$

$$w_{2j} = 2 \mu C \sin(\omega_0 T + \phi) \quad (3-12)$$

أما معادلات تحديث الأوزان لخوارزمية LMS المستخدمة فهي:

$$w_{1j+1} = w_{1j} + 2 \mu \varepsilon_j x_{1j} \quad (3-13)$$

$$w_{2j+1} = w_{2j} + 2 \mu \varepsilon_j x_{2j} \quad (3-14)$$

$w_{1j+1}$  ،  $w_{2j+1}$ : تحديث الوزن عند نقطة التفرع الأولى والثانية على الترتيب ،  $\varepsilon_j$  : إشارة الخطأ والتي نحصل عليها بطرح  $y_j$  من  $d_j$  وتعطى بالعلاقة الآتية [66]:

$$\varepsilon_j = d_j - y_j \quad (3-15)$$

حيث  $y_j$ : إشارة خرج المرشح وتساوي مجموع إشارتي الخرج عند نقطتي التفرع كما هو موضح في الشكل (3-15):

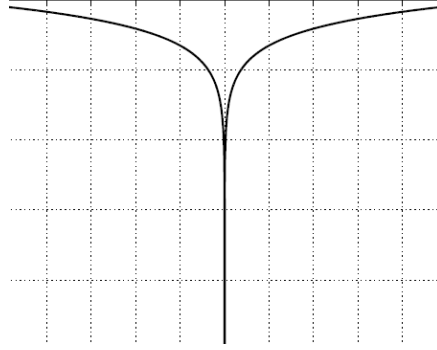
$$y_j = y_{1j} + y_{2j} \quad (3-16)$$

### 16.3. مزايا مرشح الشقوق المتكيف:

يتمتع هذا النوع من مرشحات الشقوق بالميزات الآتية:

- التتبع المتكيف والقياس الواضح بدقة لتردد التداخل غير المرغوب (التداخل المراد إزالته) [67]، ولمرشح الشقوق خاصية الرفض (المنع) عند تردد الشق الموافق لتردد التداخل هذا.
- تقارب المرشح المتكيف إلى تصميم ديناميكي تتغير خلاله أوزان المرشح مع الزمن، وهذا يقود إلى تنفيذ تصميمي لمرشح شقوق مولف يساعد على تتبع التردد الدقيق للتداخل تحت الشروط غير الثابتة أو عند وجود انحراف في التردد [67].

- يوفر سهولة في التحكم بعرض الحزمة [68]، حيث يوضح الشكل (3-16) في الأسفل شكل حزمة المنع لمرشح الشقوق المتكيف [20].



الشكل (3-16): حزمة المنع لمرشح الشقوق المتكيف.

### 17.3. توظيف مرشح الشقوق المتكيف المدروس لتخفيض تداخل القناة المجاورة في الأنظمة الخلوية:

عند حدوث التداخل الطيفي بين الإشارة المطلوبة وإشارة القناة المجاورة غير المرغوب بها سواء أكان في جهة المسار الصاعد أم الهابط، يمكن عندئذ إزالة العديد من إشارات التداخل الجيبيّة عن طريق تشكيل مرشح شقوق متعدد الأوزان مع الملاحظة المتكيفة للترددات الموافقة؛ إذ يتطلب تصميمه وزنين من أجل كلّ تداخل جيبي لتحقيق الترشيح المطلوب [69] بحيث إذا أصبح تردد التداخل معروفاً بالضبط ستتم إزالة التداخل ضيق الحزمة بضبط تردد الشق بحيث يتقارب باتجاه تردد التداخل حتى يصبح مساوياً له، وتلعب خوارزمية LMS الدور الأساسي في تقدير تردد التداخل هذا وضبط آلية عمل المرشح لتحقيق ذلك عن طريق جعل إشارة المدخل الأولي للمرشح  $d_j$  التي تمثل إشارة القناة المطلوبة مضافاً إليها إشارة القناة المجاورة المطلوب ترشيحها بمثابة الإشارة المرغوبة  $d(n)$  المطبقة على الخوارزمية، بينما الإشارات المتعكسة في الطور عند مدخلي نقطتي تفرع الوزنين للمرشح فتمثل شعاع إشارة دخل الخوارزمية  $X(n)$ .

وبناءً على ما تمّ توضيحه، فقد تمّ توظيف آلية عمل هذه الخوارزمية المتمثلة بقدرتها على توليد شعاع التصحيح المعتمد على إشارة الدّخل والخطأ، وضبط بارامترات المرشح لتقليل إشارة الخطأ من أجل تحسين أدائها بما يتناسب مع قدرتها على جعل المرشح المتكيف قادراً على العمل كمرشح شقوق متكيف من أجل تخفيض تأثير القنوات المجاورة في النظام الخلوي.

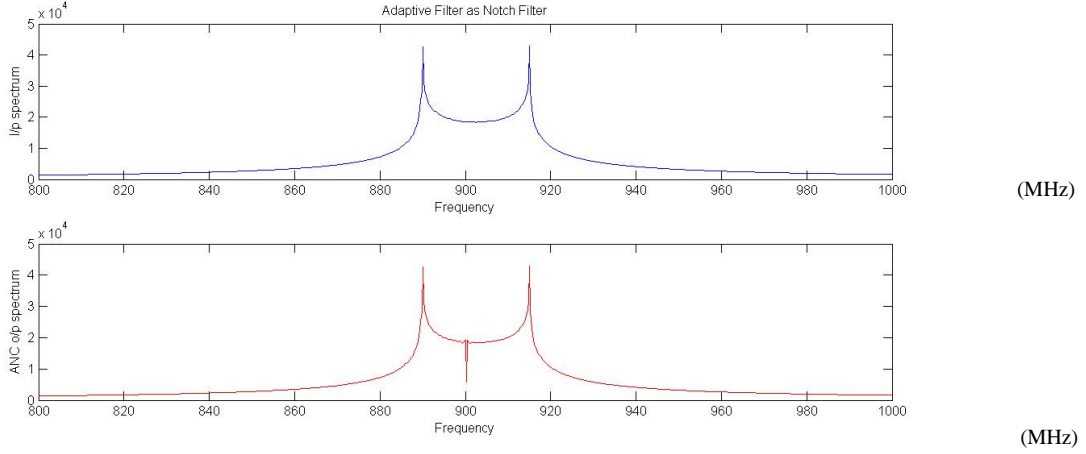
لذلك سوف نختار للدراسة تردد موجة حاملة يقع ضمن ترددات نظام GSM للأسباب المذكورة سابقاً، حيث نفرض أنّ الوحدة المتحركة MS في حال اتّصال مع المحطة القاعدية (مسار صاعد) على التردد  $f_c = 900\text{MHz}$  في الوقت الذي يستقبل فيه هوائي المحطة القاعدية القناة المجاورة العاملة على التردد  $900.2\text{MHz}$  والذي يبعد عن تردد الإشارة الأصلية بمقدار  $200\text{KH}$  (عرض القناة في نظام GSM)، وبما أنّ عرض حزمة المنع لمرشح الشقوق يوافق عرض حزمة القناة

المراد حجبتها؛ لذلك يتم اختيار  $C$  و  $\phi$  بشكل كافي من أجل الحصول بدقة على شق ضيق وعميق حول التردد المركزي (900.2MHz) وذي عرض حزمة منع مساوية لعرض القناة المجاورة المسببة للتداخل (200KH)، إذ يتم احتساب عرض حزمة المنع عند تردد منتصف الاستطاعة.

### 18.3. النتائج والمناقشة في حالة استخدام مرشح الشقوق المتكيف لتخفيض تداخل القناة المجاورة:

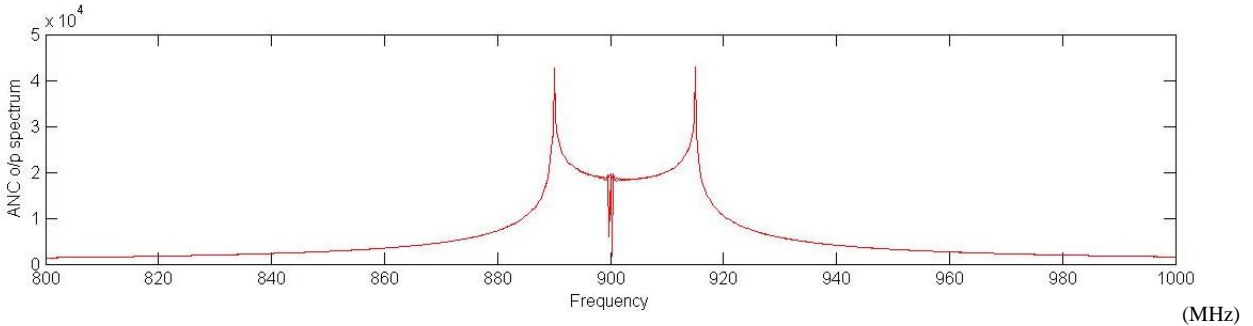
بما أن بارامتر حجم الخطوة  $\mu$  يضبط سرعة التقارب والدقة بحيث تؤدي زيادة قيمته إلى سرعة تقارب أعلى ولكن على حساب دقة التقدير [70]، لذلك نختار قيمته تجريبياً  $\mu = 0.006$  والتي تسمح بتحقيق المفاضلة المثلى بين أداء الملاحظة والتقدير الدقيق للتردد، كما أن تردد التقطيع (معدل أخذ العينات) يجب أن يكون مرتفعاً بما فيه الكفاية لتحقيق معيار نيكويست بحيث يكون مساو لضعفي تردد الإشارة على الأقل؛ لذلك فقد تم اختيار قيمة زمن التقطيع  $T$  بتقسيم زمن الإشارة على 8، نظراً لكون تردد إشارات نظام GSM من مرتبة الميغا هرتز مما يدعو إلى استخدام ترددات تقطيع كبيرة، وبما أن  $C$  و  $\phi$  يتم اختيارهما بشكل كافي؛ لذلك فقد تم اختيار قيمتهما بعد التجريب والملاحظة ( $C = 0.08$  ,  $\phi = 0^\circ$ ) من أجل الحصول على العرض المثالي لحزمة المنع الموافق لـ 200 KH.

وبعد تطبيق إشارة القناة المرغوبة ذات التردد 900 MHz مضافاً إليها إشارة القناة المجاورة المسببة للتداخل (ذات التردد 900.2 MHz)، بالإضافة إلى تطبيق الإشارة المرجعية التي لها نفس تردد القناة المجاورة المطلوب رفضها على مدخلي مرشح الشقوق المتكيف ذي الطول  $L = 2$  (عدد أوزانه = 2) المبين في الشكل (15-3) والذي يستقبل حزمة ترددات نظام GSM الممتدة على المجال الترددي (890-915 MHz)، فتظهر النتائج باستخدام برنامج الماتلاب بأن مرشح الشقوق المتكيف هذا قادر على تتبع التردد الفعلي لإشارة التداخل، حيث تقوم خوارزمية LMS بعد تحسين عملها بما يتلاءم مع جعل المرشح المتكيف يعمل كمرشح شقوق بملاحظة تغير التردد بدلاً من ملاحظة تشوه الإشارة بسبب الضجيج، وعندما يصبح تردد الشق مساوياً لتردد التداخل فإن المرشح يضبط استجابته الترددية من أجل تخميد تردد الشق فقط في إشارة الدخّل إلى مستوى منخفض يوافق مقدار طاقة التداخل المسموح بها من القناة المجاورة، وذلك بما يتوافق مع المعايير الموصى بها في نظام GSM مع ترك مصدر الإشارة من دون تشوه، ونحصل بعد حوالي 30000 تكرار على نطاق رفض ضيق جداً يمتد من التردد 900.1MHz حتى التردد 900.3MHz وهذا يوافق عرض القناة المجاورة المسببة للتداخل (الشكل (17-3))، وإن العدد الكبير للتكرارات التي تحتاجها الخوارزمية يلعب دوراً في الحصول على شق ضيق وعميق وخاصة عند الحزم الصغيرة جداً لمجال الرفض مقارنة مع حزمة التمرير للمرشح.

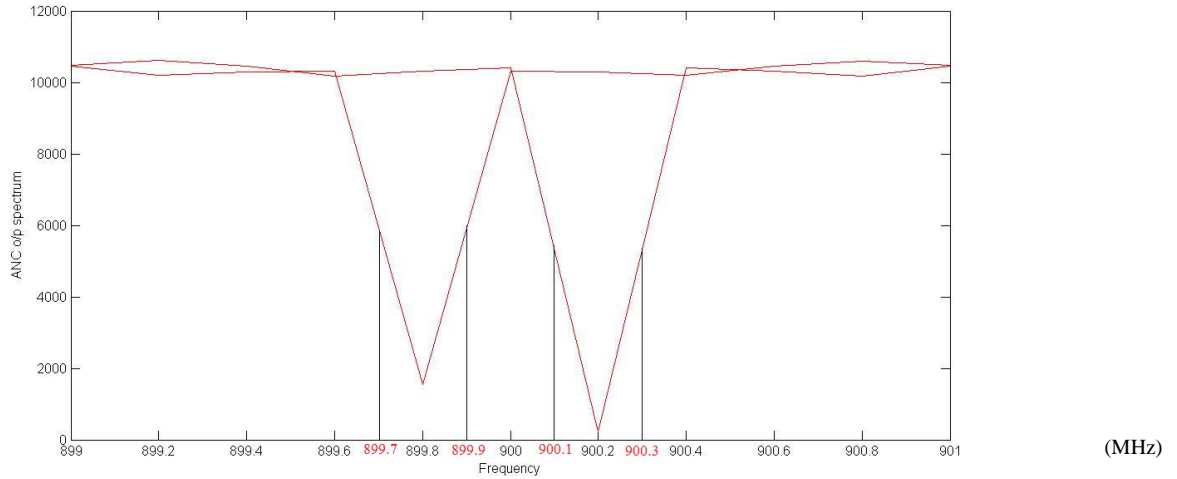


الشكل (3-17): استخدام المرشح المتكيف كمرشح شقوق وحيد التردد.

كما يمكن تخفيض تداخل العديد من الإشارات الجيبية باستخدام ترددات مختلفة للشقوق حيث يسمح المرشح المدروس بإلغاء ترددي القناتين الأعلى والأدنى ( $899.8 \text{ MHz}$  ,  $900.2 \text{ MHz}$ ) والمسببتين لتداخل القناة المجاورة، وذلك باستخدام مرشح ذي شقين؛ إذ يتمركز كل من الترددين  $899.8 \text{ MHz}$  و  $900.2 \text{ MHz}$  في مركز كل شق، الشكل (3-18-b)، كما يمكن تخفيض تداخل القنوات المجاورة الأبعد ما لم يكن تأثيرها مهماً، وتلعب هنا الدقة العالية لتقدير تردد الموجة الجيبية دوراً مهماً لتضمن أن الشقوق الضيقة سوف تلغي إشارات التداخل الجيبية، وتسمح فقط بتمرير القناة ذات التردد المركزي ( $900 \text{ MHz}$ ) والتي تمتد عرض حزمها من  $899.9 \text{ MHz}$  وحتى  $900.1 \text{ MHz}$  ( $200 \text{ KHz}$ ) كما هو موضح في الشكلين (3-18-a) و (3-18-b)، وبما أن مستويات تخميد القنوات المجاورة مرتبطة بقيمة مطال إشارة التداخل  $C$  الذي يتم اختياره بشكل كافي فإنه يمكن تحقيق مستويات تخميد عالية جداً للقناة المجاورة بما يتناسب مع مقدار التداخل المسموح به في كل نظام، وهذا يتوافق مع الدراسات المرجعية التي تبين إمكانية تحقيق مستويات تخميد تصل لحوالي  $-300 \text{ dB}$  عند استخدام مرشح الشقوق في تطبيقات أخرى مثل إزالة تداخل خطوط الطاقة في الزمن الحقيقي عند ترددات شق من رتبة الهرتز.

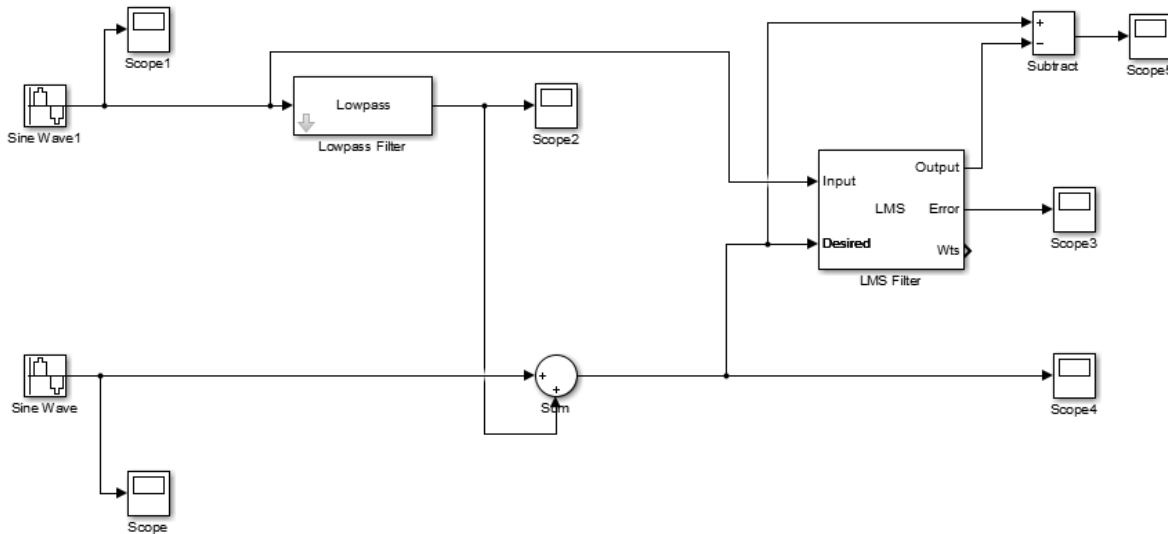


الشكل (3-18-a): استخدام المرشح المتكيف كمرشح شقوق متعدد التردد.



الشكل (3-18-b): تقريب للنتائج في الشكل (3-18-a).

بالإضافة إلى ما سبق يمكن الحصول على النتائج التي تظهر إمكانية استخدام المرشح المتكيف لتخفيض تداخل القناة المجاورة في النظم الخلوية باستخدام نموذج محاكاة الماتلاب المبين في الشكل (3-19).



الشكل (3-19): نموذج محاكاة الماتلاب لتخفيض تداخل القناة المجاورة في النظم الخلوية.

نستنتج مما سبق أنه عندما تكون إشارة التداخل غير معروفة مسبقاً فإن عرض الحزمة الابتدائي للشق يكون عريضاً في البداية، بحيث يمكن التقاط إشارة التداخل بأقصى سرعة ممكنة، وهذا ينتج عنه ترشيح أقل لإشارة التداخل ودقة أقل في تقدير التردد، ولكن مع الضبط المتكيف لبارامترات المرشح سوف يقترب عرض حزمة الشق تدريجياً من الصفر، وهذا ما يخلق صعوبة في ملاحظة التغير في تردد الإشارة، ومن الممكن أن يؤدي إلى جعل التردد المطلوب (المراد إزالته) خارج النطاق الترددي للشق، وبالتالي سيسبب ذلك خطأ كبيراً في تقدير التردد، لكن الضبط الدقيق لبارامترات المرشح في الزمن الحقيقي سيضمن وقوع التردد ضمن مجال عرض حزمة الشق

والمحافظة على قدرة المرشح على التكيّف، وبالتالي ستصبح دقّة تقدير التردد أعلى فأعلى حتّى نحصل في النهاية على شقّ ضيق وعميق حول التردد المركزي، وهذا يزيد من فعالية ترشيح القنوات المجاورة المسببة للتداخل.

وبما أنّ عرض الحزمة المثالي للمرشح الشقوق يعتمد على مطال الإشارة المرجعية (إشارة التداخل)  $C$ ، زمن التقطيع  $T$ ، حجم الخطوة  $\mu$ ، بحيث يمكن اختيار قيمة  $C$  بشكل كيفي كما ذكرنا سابقاً، لذلك نستطيع عن طريق التجريب تغيير قيمتها من أجل التحكم في العرض المطلوب لحزمة المنع  $B$  (الشكل (3-18-b)) وصولاً إلى جعله متوافقاً مع عرض حزمة التردد لإشارة التداخل المطلوب إزالتها، بالإضافة إلى إمكانية التحكم بمقدار التخميد المطلوب من خلالها، مع الأخذ بعين الاعتبار أيضاً جعل تردد التقطيع عالياً واختيار قيمة  $L$   $\mu$  تحقق المفاضلة المثلى بين سرعة تقارب الخوارزمية وقدرتها على تقدير التردد بشكل دقيق، وهكذا فإنّ اختيار  $B$  بشكل دقيق اعتماداً على تغيير قيم البارامترات السابقة يساعد في ترشيح التداخل ضيق الحزمة قدر الإمكان مع حدوث تشوهات لا تذكر في الإشارة الأصلية المرسلّة، وإنّ عرض الحزمة الذي يظهر في الشكل (3-18-b) بعد تقريب النتائج نظراً لصغر عرض حزمة القناة المطلوب رفضها يوافق شكل الحزمة من الناحية النظرية الموضّح في الشكل (3-16)، كما أنّ عمق الشقّ الذي يمكن تحقيقه باستخدام هذا التصميم يتفوق على تصميم مرشح رقمي ثابت أو مرشح تماثلي لأنّ عملية التكيّف تضمن حدوث الإلغاء بدقّة عند التردد الموافق للإشارة المرجعية.

**19.3. الخاتمة:** تناول هذا الفصل استخدام تقنية المرشح المتكيّف لتخفيض أهم مصادر التداخل في النظام الخلوي الناتجة عن قنوات ترددية أخرى تعمل على التردد ذاته (تداخل القناة المشتركة) أو تردد مجاور (تداخل القناة المجاورة)، كما درس تخفيض الضجيج الغوصي الأبيض المضاف الذي يحاكي الضجيج العشوائي المتغيّر بشكل لحظي والمؤثر في الإشارة اللاسلكية في أثناء انتقالها في الوسط الراديوي، وأظهرت الدراسة الفرق في آلية عمل المرشح المتكيّف المستخدم للمعالجة في كلتا الحالتين، وهذا يحسّن نسبة الإشارة الحاملة إلى الضجيج/التداخل بشكل كبير، والتي تعدّ البارامتر المستخدم لقياس الفعالية الطيفية للنظام اللاسلكي من حيث تحديد السعة والتغطية وجودة الخدمة حيث يمكن تحقيق مستويات رفض ضجيج/تداخل من الصعب أو المستحيل تحقيقها بوساطة طرق معالجة الإشارة الأخرى، وهذا يزيد معدّل نقل البيانات ويحسن جودة الاتصال، كما تمّ في هذا الفصل تحسين عمل خوارزمية LMS التي تعدّ أبسط الخوارزميات وأقلّها تعقيداً حسابياً وبالتالي أكثر ملاءمة لتطبيقات الزمن الحقيقي من أجل استخدامها في توظيف مبدأ عمل المرشح المتكيّف كمرشح شقوق في النظام الخلوي لإزالة الأثر غير المرغوب للقنوات المجاورة من خلال ملاحقة التردد غير المعروف لإشارة التداخل من هذه القنوات في البيئة التي



لا تتوافر فيها المعرفة الكاملة بخصائص الإشارة، وبالتالي تعمل هذه الخوارزمية في البداية على تقدير التردد الجيبي لإشارة التداخل بسرعة ودقة، ومن ثمّ تحدّث مركبات المرشّح باستخدام هذا التقدير، وهذا يساهم في تخفيض الضجيج والتداخل ضيق الحزمة الوحيد، والمتعدّد من الإشارة عريضة الحزمة حيث تكون الاستجابة الترددية لمرشّح الشقوق المتكّيف ذات خصائص رفض حادّة عند تردد الشق الموافق لتردد التداخل المراد إزالته، أمّا ظاهرة التداخل متعدّد المسارات التي تتعرّض لها الإشارة اللاسلكية وطرق معالجتها باستخدام الترشّيح المتكّيف فستدرس في الفصل القادم.

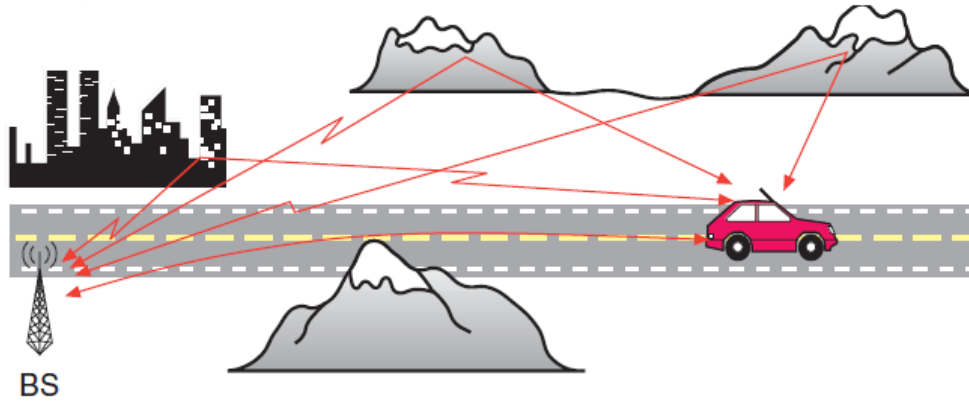
## الفصل الرابع: تخفيض التداخل متعدد المسارات في الأنظمة الخلوية

#### 1.4.1 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، وبخاصة في المدن؛ إذ تنعكس الموجة عن المباني والسيارات المتحركة، لذا يحدث تعدد المسارات عندما تأخذ هذه الإشارة طريقين أو أكثر من هوائي الإرسال إلى هوائي الاستقبال كما في الشكل (1-4)؛ إذ يكون لكل مسار طول مختلف عن الآخر، مما 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 المرسلّة، بحيث تختلف كل نسخة عن الأخرى في مقدار التخميد (المطال) والتأخير وإزاحة الطور، وينتج عن ذلك خفوت في طاقة الإشارة المستقبلّة؛ إذ إنّ الخفوت متعدد المسارات لا يُنقص من متوسط طاقة الإشارة المستقبلّة إنّما يُعاد توزيع طاقة الإشارة عبر الزمان والمكان ويجمع هوائي الاستقبال هذه الطاقة وبإمكانه استعادتها بشكل دقيق، وعلاوة على ذلك فإنّ استخدام معدل النقل العالي لبيانات الفيديو والوسائط المتعددة يتطلب عرض حزمة أعلى مما يجعل النظام أكثر حساسية للخفوت الناتج عن تعدد المسارات.

وفي الاتصالات الراديوية الخلوية مثل GSM يمكن أن يسبب تعدد المسارات أخطاء، ويؤثر في جودة الاتصالات مثل تداخل الرموز (ISI: Inter Symbol Interference) [71]، كما أنّ شدة الحقل في منطقة التغطية تتغير بالاعتماد على مطال هذه الإشارات ذات المسارات المتعددة، ومقدار التوافق، أو التعاكس بالطور عند جمعها في المستقبل، وهذا ما ينتج عنه التداخل البناء أو الهدام؛ إذ تتفاوت الإشارة الناتجة على نطاق واسع من حيث المطال والطور، وبما أنّ المطال الناتج يعتمد على زمن الانتشار وكثافة وعرض حزمة الإشارة المرسلّة؛ لذلك سوف يتم تشويه الإشارة المستقبلّة إذا كان عرض حزمة الإشارة المرسلّة أكبر من عرض حزمة القناة متعددة المسارات لأنّ مكونات التردد المختلفة للإشارة ستعاني من الخفوت غير المترابط، وهذا يسمى الخفوت انتقائي التردد، أمّا إذا كانت الإشارة المرسلّة ذات عرض حزمة أصغر من تلك القناة فإنّ مطال الإشارة المستقبلّة سوف يتغير بسرعة، ولكن لن تنتشر الإشارة؛ لأنّ جميع مكونات التردد للإشارة ستعرض لنفس حجم الخفوت، وهذا ما يطلق عليه اسم الخفوت المسطح.

ويمكن تعريف مصطلح معامل القناة "K" بأنه نسبة قوة الإشارة القادمة من خط النظر إلى قوة الإشارة القادمة من مكونات المسارات المتعددة الأخرى، وإنّ النسبة الأعلى له تعني قوة عالية للإشارة تسلك طريقها مباشرة عبر خط النظر من المرسل إلى المستقبل، كما تعني أيضاً أنّ المسافة بين هوائي الإرسال والاستقبال ليست بطويلة.



الشكل (4-1): حالة الانتشار متعدد المسارات [72].

## 2.4. التداخل متعدد المسارات:

سوف نعدّ 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، إذ تكون طاقتها أضعف مقارنة مع الشعاع المباشر، وبالتالي تكون معادلة الإشارة المباشرة هي:

$$V_D(t) = \cos(\omega_o t) \quad (4-1)$$

حيث  $\omega_o = 2\pi f_o$  التردد الزاوي العامل، فرضنا أنّ قيمة مطال الشعاع المباشر  $V = 1$  وزاوية طوره  $0^\circ$ .

أمّا معادلات الأشعة المنعكسة فهي:

$$\begin{aligned} V_{R.1} &= \rho_1 \cos[\omega_o(t - \tau_1)] \\ V_{R.2} &= \rho_2 \cos[\omega_o(t - \tau_2)] \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \quad (4-2)$$

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

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

$\tau_n$ : الفرق الزمني في الوصول بين الشعاع المباشر والشعاع المنعكس ذي الترتيب  $n$ -th، حيث يصل الشعاع  $n$ -th بعد  $\tau_n$  ثانية من وصول الشعاع المباشر [73].

وبالتالي يمكن كتابة المعادلات السابقة كما يأتي:

$$\begin{aligned}
V_{R.1} &= \rho_1 \cos(\omega_o t - \phi_1) \\
V_{R.2} &= \rho_2 \cos(\omega_o t - \phi_2) \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
V_{R.n} &= \rho_n \cos(\omega_o t - \phi_n)
\end{aligned}
\tag{4-3}$$

حيث:

$$\begin{aligned}
\phi_1 &= -\omega_o \tau_1 \\
\phi_2 &= -\omega_o \tau_2 \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
\phi_n &= -\omega_o \tau_n
\end{aligned}
\tag{4-4}$$

$\phi_n$ : زاوية طور الأشعة المنعكسة و تأخذ قيماً بين  $0^\circ$  و  $180^\circ$ .  
وبما أن هذه الأشعة المنعكسة يطرأ عليها إزاحة طور واستقطاب وتغيرات أخرى عندما تصطدم بسطوح التبعثر، لذلك فرضنا أنها تملك مطالات مختلفة (توصف بـ  $\rho_n$ )، حيث تتغير خصائص القنوات متعددة المسارات عادة مع الزمن طالما أن هندسة القناة تتغير.

#### 1.2.4. تحليل التداخل متعدد المسارات لشعاعين:

بفرص 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 يأتي:

$$V_D(t) = \cos(\omega_o t) \tag{4-5}$$

$$V_{R.1} = \rho_1 \cos[\omega_o(t - \tau_1)] \tag{4-6}$$

ويمكن إعادة كتابة المعادلة (4-6) على الشكل الآتي:

$$\begin{aligned}
V_{R.1} &= \rho_1 \cos[\omega_o t - \omega_o \tau_1] \\
&= \rho_1 \cos[\omega_o t + \phi_1]
\end{aligned}
\tag{4-7}$$

حيث:

$$\phi_1 = -\omega_o \tau_1 \tag{4-8}$$

و  $\tau_1$ ،  $\rho_1$  متغيرات عشوائية.

فتكون الإشارة الكلية عند هوائي الاستقبال:

$$V_{Rx}(t) = V_D(t) + V_{R,1}(t) \quad (4-9)$$

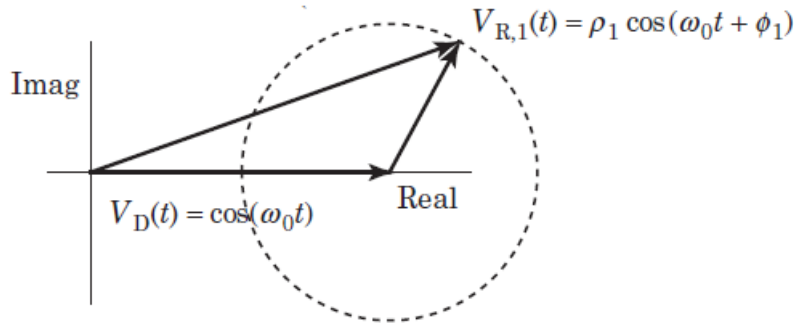
$$= \cos(\omega_0 t) + \rho_1 \cos(\omega_0 t + \phi_1)$$

وتحدث حالة الخفوت هنا عندما تقع طاقة الإشارة المستقبلية 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 المرسلية، كما يختلف مستوى طاقة العتبة هذه في الأنظمة الخلوية تبعاً لكون المرسل هو المحطة القاعدية أو الجهاز المحمول الذي يبث بطاقة منخفضة. وبتحليل العلاقة الأخيرة نجد أن:

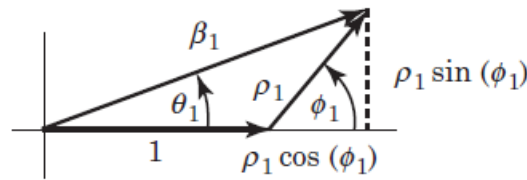
$$V_{Rx}(t) = 0 \text{ عندما } \begin{cases} \rho_1 = 1 \\ \phi_1 = 180^\circ \end{cases} \quad (4-10)$$

حيث يجب تحقق الشرطين معاً من أجل حدوث الخفوت، أي يجب أن يكون فرق أطوال الطريق بين الأشعة المباشرة والمنعكسة عدداً فردياً من  $180^\circ$ ، وعندها يحصل التخميد الأسوأ للإشارة المستقبلية وتُلغى بشكل كامل [74].

ويمكن تمثيل العلاقة (4-9) بالمخطط الشعاعي الموضح في الشكل (4-2).



(a)



(b)

الشكل (4-2): المخطط الشعاعي للتداخل بين المسار المباشر ومسار منعكس واحد فقط.

ومنه نجد أن:

$$\begin{aligned}\beta_1^2 &= [1 + \rho_1 \cos(\phi_1)]^2 + [\rho_1 \sin(\phi_1)]^2 \\ &= 1 + 2\rho_1 \cos(\phi_1) + \rho_1^2 \cos^2(\phi_1) + \rho_1^2 \sin^2(\phi_1) \\ &= 1 + 2\rho_1 \cos(\phi_1) + \rho_1^2 \\ \tan(\theta_1) &= \frac{\rho_1 \sin(\phi_1)}{1 + \rho_1 \cos(\phi_1)}\end{aligned}\quad (4-11)$$

ويمكن إعادة كتابة العلاقة (4-9) كما يأتي:

$$\begin{aligned}V_{Rx}(t) &= \cos(\omega_o t) + \rho_1 \cos(\omega_o t + \phi_1) \\ &= \beta_1 \cos(\omega_o t + \theta_1)\end{aligned}\quad (4-12)$$

حيث  $\beta_1^2$  : نسبة الطاقة في  $V_{Rx}(t)$  إلى الطاقة في موجة التّجب الأصلية.

$\theta_1$  : تغير الطّور بين موجة التّجب الأصلية و  $V_{Rx}(t)$ .

#### 2.2.4. تحليل التداخل لثلاثة أشعة:

بالطريقة السابقة نفسها يكون الشعاع المباشر:

$$V_D(t) = \cos(\omega_o t) \quad (4-13)$$

والشعاعان المنعكسان هما:

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

و

$$(4-14)$$

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

وتكون الإشارة الكلية:

$$\begin{aligned}V_{Rx}(t) &= \cos(\omega_o t) + \rho_1 \cos[\omega_o(t - \tau_1)] + \rho_2 \cos[\omega_o(t - \tau_2)] \\ &= \cos(\omega_o t) + \rho_1 \cos[\omega_o t + \phi_1] + \rho_2 \cos[\omega_o t + \phi_2]\end{aligned}\quad (4-15)$$

حيث:

$$\phi_1 = -\omega_o \tau_1$$

و

$$\phi_2 = -\omega_o \tau_2$$

#### 3.2.4. التحليل لـ n شعاع:

يمكن تعميم نموذج تعدّد المسارات لثلاثة أشعة إلى نموذج n شعاع، حيث نفرض أن n شعاع منفصل يصل إلى هوائي الاستقبال، وكل واحد له  $\rho$  و  $\tau$  مختلف.

وبالتالي يحدث إلغاء الإشارة في هذه الحالة عندما يكون مجموع الشعاع المباشر مضافاً إليه الأشعة المنعكسة مساوياً الصفر.

### 3.4. سيناريو التداخل:

سوف نختار للدراسة تردد موجة حاملة يقع ضمن ترددات نظام GSM كونه القاعدة الأساسية التي انطلقت منها الأجيال اللاحقة، 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 وتشتع في العديد من الاتجاهات، كما نفرض أن هذا المستخدم في حال اتصال مع المحطة القاعدية (مسار صاعد) على التردد  $f_o = 900\text{MHz}$ .

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

$$V_D(t) = \cos(2\pi 900 * 10^6 t) \quad (4-16)$$

حيث يصل بمطال  $1\text{ V}$  وطور  $0^\circ$ .

أما المسار الثاني (المنعكس) فيعطى بالعلاقة الآتية:

$$V_{R.1} = 0.7 \cos[2\pi 900 * 10^6 t + 70^\circ] \quad (4-17)$$

حيث  $\rho_1 = 0.7\text{V}$  و  $\phi_1 = 70^\circ$  (نفرض أن الإشارة تعرضت لانعكاسات خمدت من مطالها بمقدار  $0.3\text{ V}$ ، ووصلت بعد فاصل زمني ليس كبير؛ إذ إن فرق الطور ( $70^\circ$ ) يقع في الثلث الأول من المجال  $0^\circ \leftarrow 360^\circ$ ).

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

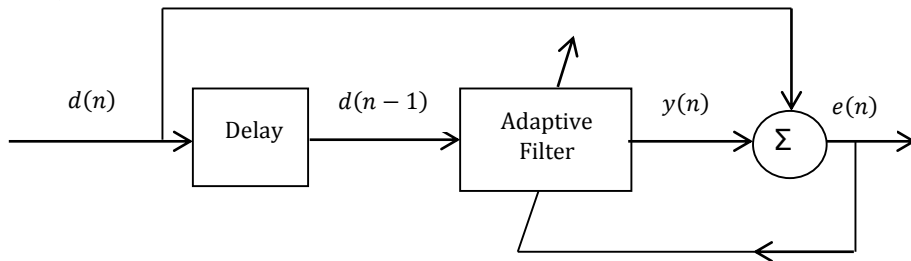
### 4.4. تخفيض التداخل متعدد المسارات باستخدام المرشح المتكيف:

بما أن إرسال المعطيات في أي نظام اتصالات لاسلكي يتأثر بالضجيج والتداخل بشكل عام والتداخل متعدد المسارات بشكل خاص، ما يؤثر في جودة نقل البيانات، وبخاصة في الأنظمة الخلوية الراديوية؛ إذ 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 للطرق التقليدية المتبعة في التخفيف من آثار هذا التداخل العديد من السلبيات، فإن المرشح المتكيف يعدّ البديل الأفضل لجميع الطرق السابقة، نظراً لقدرته على العمل في بيئة غير معروفة، وإمكانياته الجيدة جداً للملاحقة؛ إذ يعمل بفعالية على تخفيض التداخل متعدد المسارات بدرجات متفاوتة تابعة لمقدار الخفوت الذي يحصل على الإشارة الأصلية عند جمعها مع الإشارات المنعكسة.



وعندما تُرسل الإشارة الأصلية عبر الوسط الراديوي، وتُستقبل من قبل هوائي المحطة القاعدية، فلا تُستقبل كإشارة مسار مباشر فقط، بل تُستقبل مع النسخ غير المباشرة، وإنَّ طريقة المعالجة هنا تعتمد على استخدام المرشح المتكيف الذي يعمل على مبدأ التنبؤ (الشكل (4-3)) بشكل مشابه لطريقة تخفيض تداخل القناة المشتركة والمجاورة، ويُستخدم في هذه الحالة هوائي واحد (بمنزلة 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 مؤخّرة 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، لذلك، ومن خلال تعديل فرق الطور بين هذه المكونات الجيبية في المدخلين سوف يُلغى أحدهما الآخر عند الجمع ونحصل في خرج المرشح على الإشارة  $y(n)$ ، والتي تكون بمنزلة تقدير لإشارة التداخل المتراكبة على الإشارة الأصلية، ومن ثم يتم طرحها من الإشارة المشوشة  $(d(n))$  لتعطي الإشارة النظيفة  $e(n)$  التي تُغذي خوارزمية LMS عبر حلقة التغذية العكسية وتحديث أوزان المرشح، وتستمر الخوارزمية بالتكرار حتى تصبح إشارة الخطأ أقرب ما يمكن للإشارة الأصلية (الفرق بينهما أصغر ما يمكن) [75].



الشكل (4-3): مبدأ عمل المرشح المتكيف المستخدم لتخفيض التداخل متعدد المسارات.

## 5.4. التطبيق العملي:

نطبق على المدخل الرئيس للمرشح المتكيف ذي الطول  $(L=10)$  الإشارة المرغوبة

المكوّنة من مجموع إشارتي المسار المباشر والمسار المنعكس، والتي تعطى بالعلاقة:

$$d(n) = V_D(t) + V_{R.1} \quad (4-18)$$

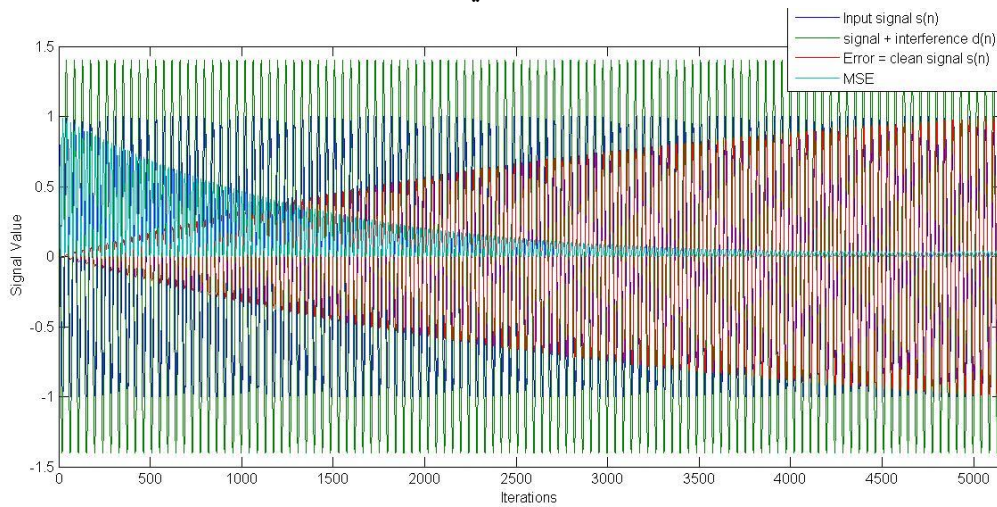
$$d(n) = \cos(2\pi 900 * 10^6 t) + 0.7 \cos[2\pi 900 * 10^6 t + 70^\circ]$$

بينما نطبق على المدخل الثانوي النسخة المؤخّرة منها والمستخدم كإشارة مرجعية  $x(n)$ ، كما نقوم

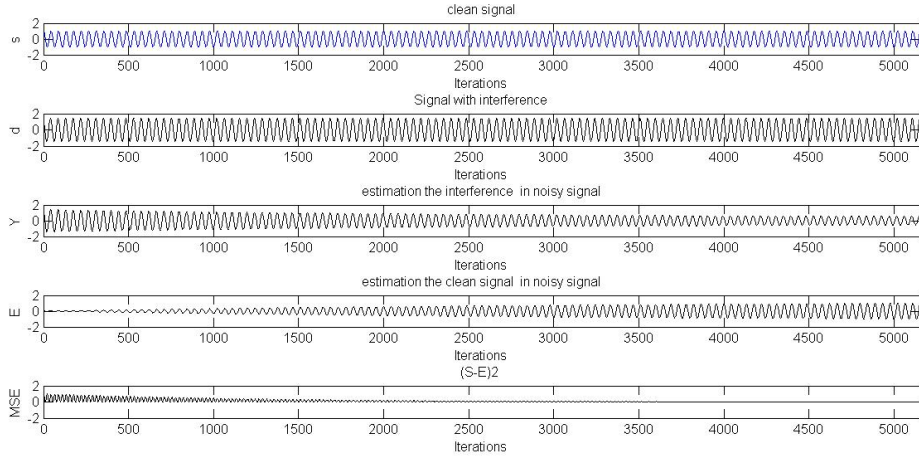
بتطبيق خوارزمية LMS ذات حجم الخطوة  $(\mu = 0.0001)$  مع الأخذ بالحسبان أنّ شعاع الوزن

الابتدائي مساوٍ للصفر  $(W(0)=0)$ .

وكما يظهر لدينا في الشكل (4-4) 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 تكراراً) إشارة خطأ وهي بمنزلة نسخة مطابقة للإشارة الأصلية بنسبة كبيرة، إذ إنّ منحنى خطأ الحالة الثابتة MSE والذي يعبر عن مربّع الفرق بين الإشارة الحقيقية وإشارة الخطأ يتقارب إلى قيمة قريبة جداً من الصفر، كما يظهر الشكل نفسه 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؛ لأنها تعاني من صعوبة تحقيق التوازن المثالي بين معدّل التقارب والاستقرار؛ إذ عندما يكون حجم الخطوة صغيراً نحصل على إشارة بدقّة عالية ولكن على حساب بطء معدّل التقارب. وبالمقابل فإنّ اختيار حجم خطوة كبير يؤدي إلى قدرات تتبّع عالية ولكن الحساب التقديري لإشارة الخطأ لا يكون جيّداً، إذ تصبح الخوارزمية غير مستقرة ويمكن أن تفقد متجاوزة القيم الصحيحة ولا يمكن إيجاد المركّبات المثالية في هذه الحالة.



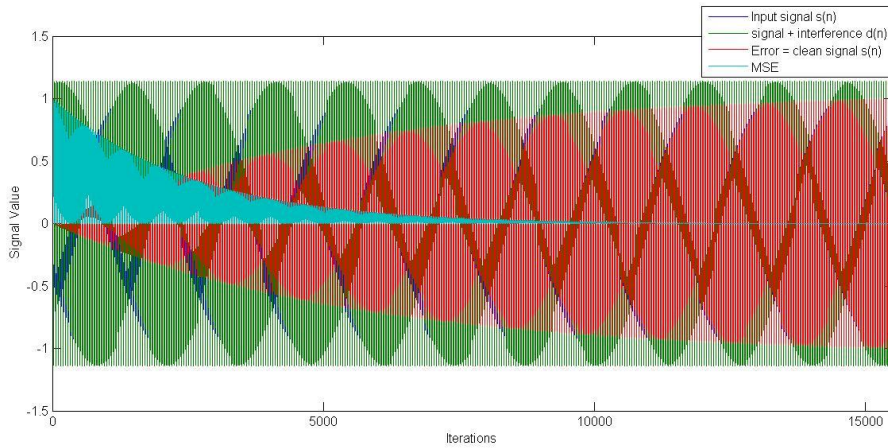
(a)



(b)

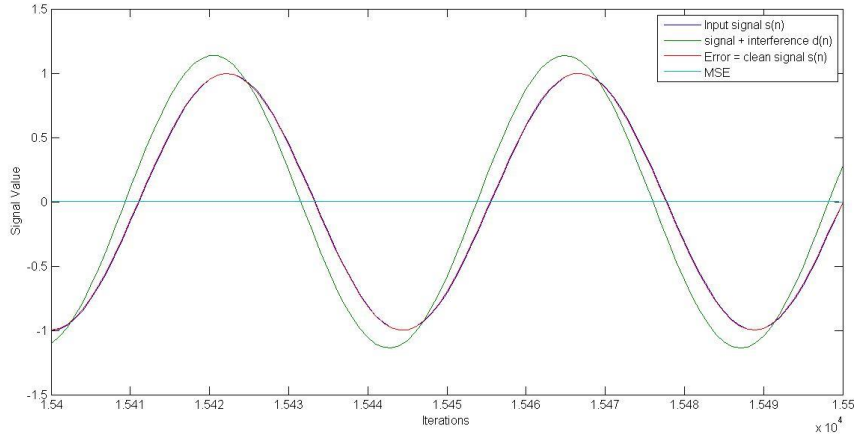
الشكل (4-4): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لتخفيض التداخل متعدد المسارات عندما ( $\rho_1=0.7V$  &  $\phi_1=70^\circ$ ).

وإذا أعدنا الدراسة نفسها باعتبار أن فرق الطور نفسه بينما تناقص المطال ليصبح  $0.2V$  (الشكل (4-5)) نجد أن الخوارزمية تحتاج إلى 15550 تكراراً لتخفيض التداخل بشكل كبير والحصول على الإشارة الأصلية، ونفسر ذلك بأن وصول الإشارة بمطال  $0.2V$  ولكن بنفس الطور ( $70^\circ$ ) (نفس التأخير الزمني السابق) تعني أن الإشارة تخامت نتيجة تعرضها لانعكاسات قوية خلال التأخير السابق نفسه، وبما أن عملية الترشيح المتكيف تقوم بتقدير إشارة التداخل، ومن ثم طرحها من الإشارة المشوشة للحصول على الإشارة النظيفة، فإن الخوارزمية تستغرق عدد تكرارات أكثر بكثير من أجل كشف هذه النسخة المتخامدة من الإشارة.



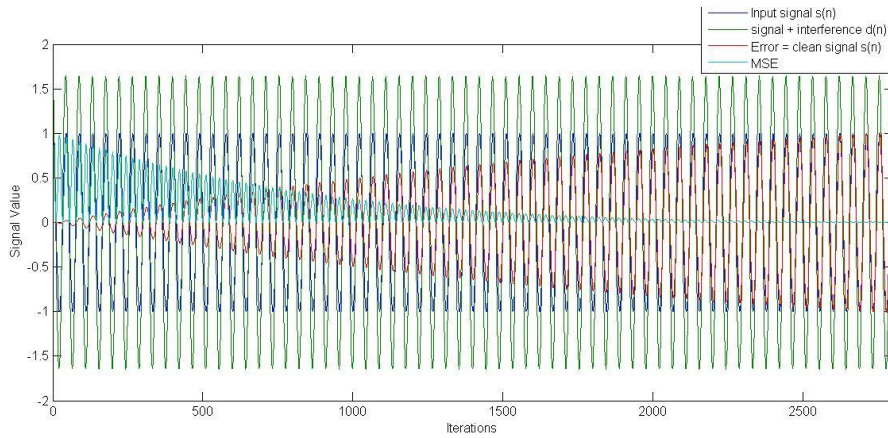
الشكل (4-5-a): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لتخفيض التداخل متعدد المسارات عندما

( $\rho_1=0.2 V$  &  $\phi_1=70^\circ$ ).



الشكل (4-5-b): تقريب للنتائج التي تظهر في الشكل (4-5-a).

وكذلك بتكرار الدراسة السابقة مع إبقاء المطال نفسه (0.7V) ولكن فرق الطور أصغر، وليكن ( $30^\circ$ ) نجد أن الخوارزمية تحتاج إلى عدد أقل من عمليات التكرار (2700 تكرار) (أي التأخير الزمني أصبح أقل)، للوصول إلى النسخة المطابقة للإشارة الأصلية (الشكل (4-6)). 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 (4-6): نتائج تطبيق خوارزمية LMS لتخفيض التداخل متعدد المسارات عندما

$$(\rho_1 = 0.7 \text{ V} \ \& \ \phi_1 = 30^\circ)$$

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

ولكن سلبية تكمن في عدم قدرته على معالجة حالات الخفوت أو الحالات القريبة منها، إذ إنه 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 إجراء الدراسة السابقة بالطريقة نفسها تماماً مع افتراض وجود اثنين أو أكثر من الأشعة المنعكسة (عدّة مسارات للتداخل) ومقارنة النتائج بعضها مع بعض، كما أنّ ظاهرة الصدى المرافقة لانتشار الأمواج الكهرومغناطيسية تعدّ نوعاً من التداخل متعدّد المسارات غير المعروف والمتغيّر مع الزمن لذلك فهي تُعالج بالطريقة السابقة نفسها.

**6.4. الخاتمة:** تمّ في هذا الفصل تخفيض التداخل الناتج عن المسارات المنعكسة (غير المباشرة) ممّا يساهم في زيادة نسبة الإشارة الحاملة إلى التداخل بشكل كبير مقارنة مع الطرق المتبعة سابقاً، كما تساهم خوارزمية LMS التي تقود المرشّح المتكيّف في تحقيق الملاحقة السريعة والتّعقيد الحسابي المنخفض.

## الفصل الخامس: تخفيض الضّجيج النبضي المرافق لنقل الإشارة في الأنظمة الخلوية

## 1.5. مقدمة:

تستخدم المرشحات المتكيفة كما ذكرنا سابقاً في معالجة الإشارات الرقمية ولها العديد من التطبيقات، ومن أهمها إلغاء الضجيج، كما تستخدم بشكل رئيسي عندما تكون الخصائص الإحصائية للإشارة المرسله غير ثابتة بطبيعتها، إذ يتم ضبط مركباتها من أجل الحصول على الاستجابة المطلوبة وتحسين الأداء [24].

ويعدّ الضجيج النبضي أكثر أنواع الضجيج تأثيراً في أنظمة الاتصال وبخاصة في الأنظمة الخلوية المستخدمة لتقنية OFDM في التعديل؛ إذ يؤثر في جودة الاتصال ويجعل المعلومات المنقولة غير مفهومة [14-16-19] وهو ضجيج غير غوسي بطبيعته، وينشأ هذا الضجيج من مصادر بشرية متعددة، إذ يمكن أن يولد من مصادر مختلفة (مثل مخلفات السيارات وخطوط الطاقة ومرور العابرين)، كما أنه يتألف من فترات قصيرة نسبياً (on/off) ويملك كثافة طاقة عالية وتسلسل نبضات ذات مطالات عشوائية ومواقع عشوائية للحدوث [25].

وهذا هو السبب وراء تطوير العديد من النظريات التي تنقص هذا الضجيج ولكن ولا واحدة منها تقضي عليه بشكل كامل ولكن تنقص بشكل كبير من مستوى الضجيج الذي يمكن حصوله، فقد تمّ اللجوء سابقاً إلى العديد من الطرق التقليدية لإزالته كطريقة القص؛ إذ تتميز هذه الطريقة ببساطتها، وتكون في جهة الاستقبال لقناة الضجيج الغوسي الأبيض المضاف AWGN على اعتبار أن الضجيج النبضي يضاف إلى القناة خلال عملية الاتصال، و تغيّر هذه الطريقة مطال البيانات فقط بدون تغيير في البارامترات الأخرى مثل الطور؛ لذلك فإنّ مطال الإشارة يُقص أو يحدّد عند عتبة معينة ولا يحدث أي تغيير على القيم العالية للإشارة، لهذا تكون هذه الطريقة غير قادرة على تخفيض الضجيج الذي يقع تحت قيمة العتبة، وعادة ما يحدث الضجيج تحت العتبة بسبب الضجيج الغوسي الأبيض المضاف من القناة، لذلك يتمّ تمرير هذه البيانات المقصودة خلال المرشح المتكيف من أجل تخفيض هذا الجزء المتبقي من الضجيج، وبالتالي يمكن دمج طريقة القص مع الترشيح المتكيف أو يمكن الاستعاضة عن ذلك باستخدام تقنية الترشيح المتكيف بمفردها عند مدخل هوائي الاستقبال؛ إذ أثبتت فعاليتها في تخفيض هذا النوع من الضجيج مقارنة بالطرق التقليدية السابقة [26].

## 2.5. مبدأ عمل المرشح المتكيف المستخدم لتخفيض الضجيج النبضي:

لا يختلف مبدأ عمل المرشح المتكيف في معالجة هذا النوع من الضجيج عن المبدأ الأساسي للاغني الضجيج المتكيف الذي تمت دراسته في الفصول السابقة والذي يعتمد على تقدير إشارة الضجيج وطرحها من الإشارة المشوشة؛ إذ يعمل على إنتاج إشارة مساوية لإشارة الضجيج المرافق غير المرغوب في التردد والمطال، ولكن بطور معاكس، وبالتالي ينتج عن هاتين الإشارتين إلغاء

إشارة الضجيج، ويعمل هذا المرشح بطريقة متكيفة؛ أي إنه لا يتطلب معرفة مسبقة بخصائص الإشارة أو الضجيج.

ونطبق على المدخل الأولي للمرشح المتكيف الموضح سابقاً في الشكل (2-16) الإشارة المرسلية  $s(n)$  المشوشة بالضجيج النبضي  $n(n)$  ونرمز لها بالرمز  $d(n)$  وتسمى بالإشارة المرغوبة  $d(n) = s(n) + n(n)$ ، أما المدخل الثاني له فنطبق عليه الإشارة المرجعية ونرمز لها بالرمز  $x(n)$  وهي عبارة عن الضجيج غير المرتبط بالإشارة، لكنه مرتبط بطريقة غير معروفة بالضجيج المؤثر على الإشارة، ويعطي المرشح المتكيف في خرجه الإشارة  $y(n)$  وهي تقدير لإشارة الضجيج النبضي المتراكب على الإشارة الأصلية المرسلية، إذ تتقارب لتصبح مساوية لها ويتم طرح الإشارة  $y(n)$  من الإشارة المرغوبة  $d(n)$  لتعطي الإشارة  $e(n)$  التي تمثل إشارة خطأ النظام وهي تستخدم لتحديث مركبات المرشح القابلة للضبط (أوزان نقاط التفرع)، وتتكرر هذه العملية وفقاً للخوارزمية المطبقة ضمن حلقة تغذية عكسية من أجل الحصول على إشارة الخطأ  $e(n)$  الخالية من الضجيج بحيث تصبح مساوية تقريباً للإشارة المرسلية  $s(n)$  [76].

### 3.5. الخوارزمية المستخدمة لتخفيض الضجيج النبضي:

طالما أن الخطأ الناتج عن الضجيج النبضي لا يخضع لتوزيع غوص، فإن تابع الكلفة هنا مختلف عن حالة الضجيج الغوصي الأبيض وإن تابع الكلفة المقترح هذا قوي ضد الضجيج ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$J(n) = \frac{\log[\cosh(\beta \cdot e(n))]}{\beta} \quad (5-1)$$

حيث  $\beta$  : هو بارامتر يتحكم في تقعر تابع الكلفة وحساسيته للقيم المتطرفة الكبرى في حساب  $e(n)$  وبالتالي تكون علاقة تحديث أوزان المرشح كما يلي:

$$w_{n+1} = w_n + \mu \cdot \tanh[\beta \cdot e(n)] x_n \quad (5-2)$$

حيث  $w_{n+1}$ : تحديث شعاع وزن المرشح،  $w_n$  شعاع وزن المرشح،  $\mu$  حجم خطوة المرشح. وإن القيم المتطرفة لـ  $e(n)$  التي تدخل في علاقة تحديث الأوزان تكون محدودة التأثير ويسهل التحكم بها عن طريق البارامتر  $\beta$  ويعطي  $\tanh(\beta \cdot e(n))$  بالعلاقة:

$$\tanh(\beta \cdot e(n)) = \begin{cases} \text{sign}(e(n)), & \text{if } |e(n)| > 1/\beta \\ -e(n) \cdot |e(n)| \cdot \beta^2 + 2\beta \cdot e(n), & \text{if } |e(n)| \leq 1/\beta \end{cases} \quad (5-3)$$

وبالتالي فإن تحديث مركبات الخوارزمية في العلاقة (5-2) يعطى بالعلاقة الآتية:

$$w_{n+1} = \begin{cases} w_n + \mu \cdot \text{sign}[e(n)] x_n, & \text{if } |e(n)| > 1/\beta \\ w_n + \mu [2\beta - \beta^2 \cdot |e(n)|] e(n) \cdot x_n, & \text{if } |e(n)| \leq 1/\beta \end{cases} \quad (5-4)$$

حيث  $x_n$  : شعاع إشارة دخل المرشح، وإن قيمة  $\beta$  تعدل بشكل متكرر وفقاً لتقدير الخطأ وهي تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\beta = \frac{3}{m+3\sigma} \quad (5-5)$$



حيث  $m$ : هي القيمة المتوسطة لإشارة الخطأ،  $\sigma$ : هي الانحراف المعياري لإشارة الخطأ. ويتم تعديل قيمة العتبة من ناحية الحساسية للقيم المتطرفة من أجل توفير مستويات مختلفة للمناعة ضد الضجيج النبضي، وبالتالي فإن عملية الحساب لتحديث المعاملات تتطلب قيم  $\beta$ ،  $e(n)$ ،  $\mu$ .

وبما أن معظم تطبيقات الترشيح المتكيف تملك إشارات ذات قيم متوسطة صفرية، فإن قيمة  $m$  عندما يكون عدد العينات كبيراً سوف تقترب من الصفر؛ لذلك يستخدم الانحراف المعياري فقط لتقدير قيمة  $\beta$ ؛ إذ لا يمكن جعل قيمتها ثابتة طالما أنها تتحكم بالحساسية تجاه القيم المتطرفة، ويمكن استخدام الانحراف المعياري أو مربعه (الفرق) لتقدير قيمة  $\beta$ ، لذلك بالعودة إلى العلاقة (5-5) نجد أن  $\beta$  يمكن أن تقرب إلى  $1/\sigma^2$  وبالتالي يعطى  $\sigma^2(n)$  بالعلاقة الآتية:

$$\sigma^2(n) = \frac{n-1}{n} \cdot \sigma^2(n-1) + \frac{1}{n-1} (e(n) - m)^2 \quad (5-6)$$

وأيضاً تقرب العلاقة الأخيرة من أجل القيم العالية للعينات إلى:

$$\sigma^2(n) = 0.95 \cdot \sigma^2(n-1) + \frac{e(n)^2}{n} \quad (5-7)$$

ومن ثم تكون الخطوة التالية هي حساب مركبات العينة في التكرار التالي، وهي تحسب وفقاً للعلاقة (5-4) باستبدال قيمة  $\beta$  [24-25].

وإن حساب إشارة خرج المرشح  $y(n)$  يكون وفق العلاقة الآتية:

$$y(n) = w_n^T \cdot x_n \quad (5-8)$$

أما إشارة الخطأ فتحسب بالفرق بين الإشارة المرغوبة وإشارة خرج المرشح المتكيف وتعطى بالعلاقة:

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (5-9)$$

#### 4.5. طريقة توليد الضجيج النبضي:

يمكن نمذجة تتابع الضجيج النبضي كنموذج ذي توزيع غوسي برنولي، حيث تتم نمذجة المطال عن طريق توزيع غوص، أما معدل حدوث النبضات فينمذج حسب توزيع برنولي كما يأتي:

$$n_i(m) = n(m)b(m) \quad (5-10)$$

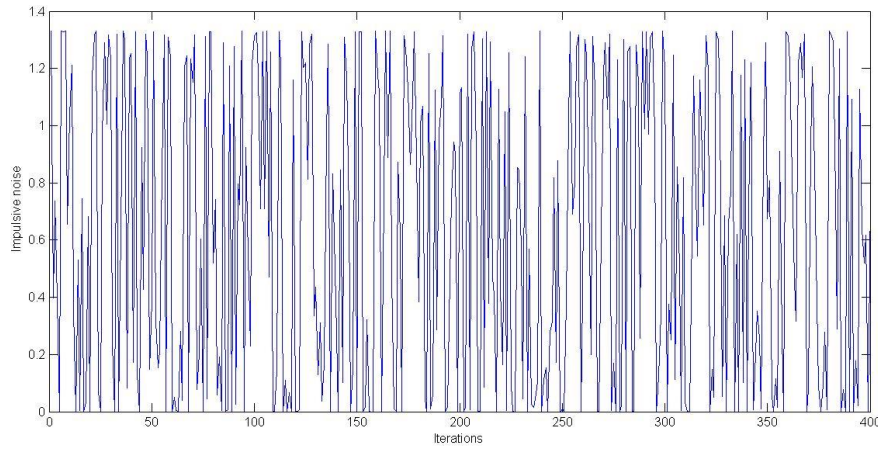
في العلاقة السابقة، نجد أن عملية برنولي للتسلسل العشوائي الثنائي من الأصفار والوحدات يشار إليها بـ  $b(m)$  و  $n(m)$  وهي عملية ضجيج عشوائي، وبالتالي فإن نموذج تابع الكثافة الاحتمالي الغوسي ذي القيمة المتوسطة الصفرية للمطالات العشوائية للضجيج النبضي يعطى بالعلاقة:

$$f_N(n(m)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{GH}} \exp\left[-\frac{n^2(m)}{2\sigma_{GH}^2}\right] \quad (5-11)$$

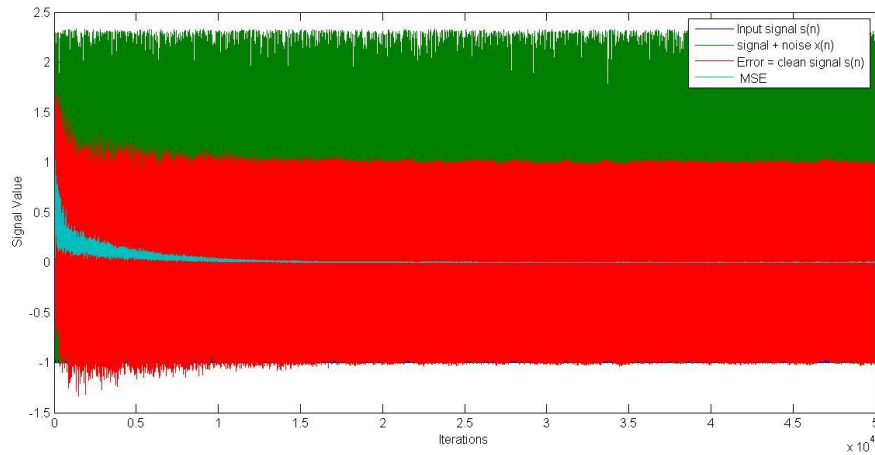
حيث  $\sigma_{GH}$ : هو الانحراف المعياري لضجيج غوص [25-77].

## 5.5. النتائج العملية ومناقشتها:

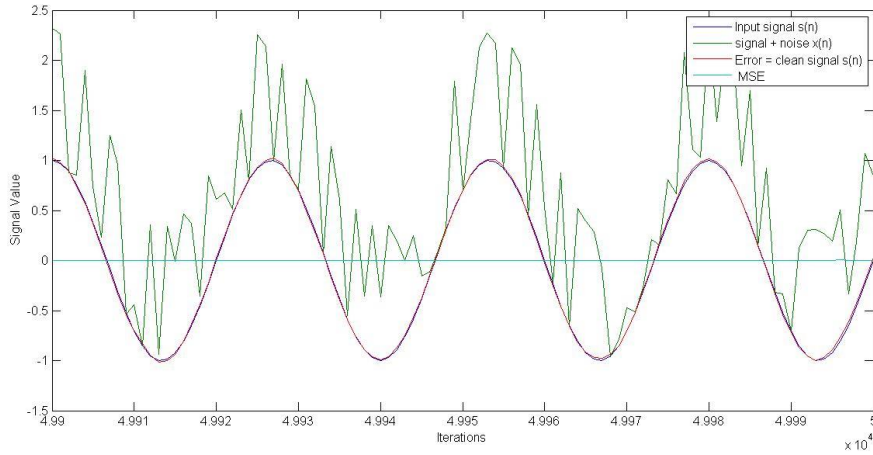
ندرس مرشحاً متكيفاً ذا طول  $L=10$  متوضّعاً على مدخل هوائي الاستقبال في نظام اتّصال لاسلكي خلوي، إشارة دخله عبارة عن إشارة جيبية تتعرّض لضجيج طلقي، ونطبق الخوارزمية المستخدمة التي تعمل وفق حجم الخطوة  $\mu = 0.001$ . كما نفرض أنّ إشارة الخطأ في أول تكرار منحرفة معيارياً عن الإشارة الأصلية بمقدار  $0.885$  لذلك فإنّ  $\sigma(1) = 0.885$ . أمّا من أجل توليد الضجيج النبضي كما هو موضّح في الشكل (5-1) فنفرض أنّ قيمة الانحراف المعياري لضجيج غوص  $(\sigma_{GH})$  مساوية  $0,3$  [26].



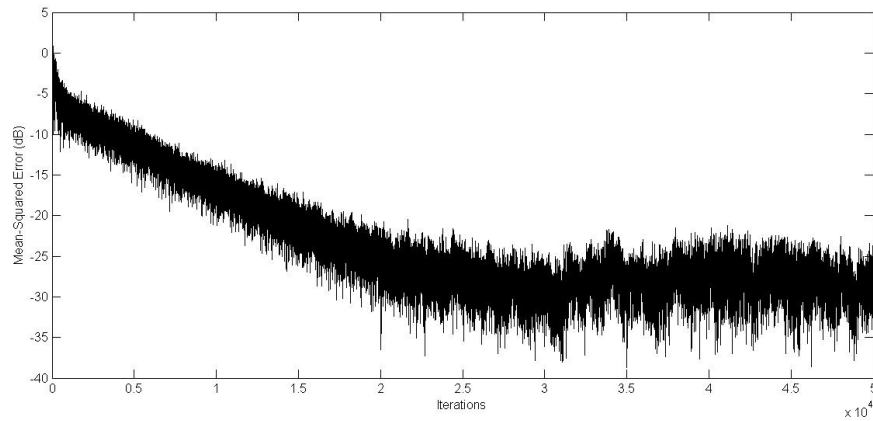
الشكل (5-1): إشارة الضجيج النبضي.



الشكل (5-2-a): نتائج تطبيق الخوارزمية المستخدمة ذات حجم الخطوة  $\mu = 0,001$  لتخفيض الضجيج النبضي.



الشكل (5-2-b): تقريب للنتائج التي تظهر في الشكل (5-2-a).



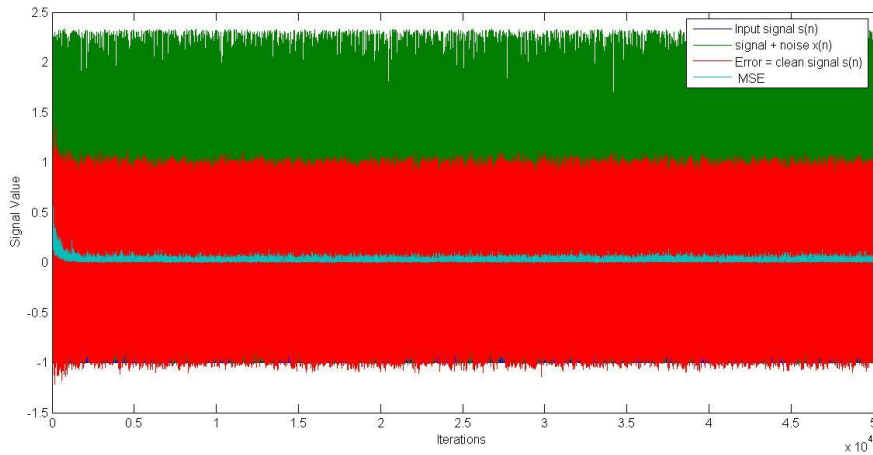
الشكل (5-3): MSE(dB) للمرشح الذي يعمل وفق الخوارزمية المستخدمة ذات حجم الخطوة  $\mu = 0.001$ .

ونلاحظ بعد تطبيق الخوارزمية المستخدمة أنها تتقارب بعد حوالي 25000 تكرار (الشكل (5-3))، كما أنه من المعتاد لقياس أداء المرشح أن نحسب تزايد خطأ الحالة الثابتة، والذي يعرف بأنه تزايد القيمة المربعة الأصغر للخطأ، وبالتالي نحصل على قيم MSE المبينة في الجدول (5-1) من الشكل (5-2-a)، كما نلاحظ من خلال الشكل (5-2-b) أن إشارة الخطأ تنطبق على إشارة الدّخل بنسبة كبيرة عند التكرارات الأخيرة حيث تبلغ MSE القيمة 0.0004 وهذا يدلّ على فعالية هذه الخوارزمية في تخفيض الضجيج النبضي بنسبة كبيرة وفي تحسين نسبة الإشارة إلى الضجيج.

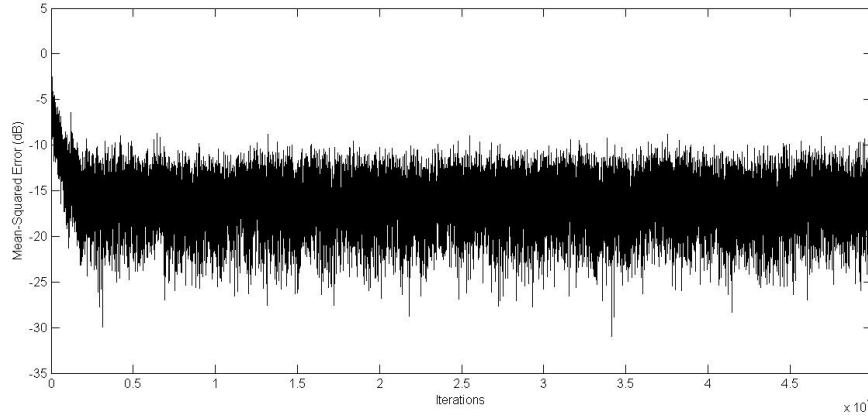
الجدول (5-1): قيم MSE للمرشح الذي يعمل وفق الخوارزمية المستخدمة لتخفيض الضجيج النبضي.

التركرارات	MSE للخوارزمية المستخدمة ذات حجم الخطوة $\mu=0.001$	التركرارات	MSE للخوارزمية المستخدمة ذات حجم الخطوة $\mu=0.001$
10000	0.035	32000	0.0013
13000	0.018	35000	0.0010
17000	0.014	38000	0.0009
20000	0.008	41000	0.0009
23000	0.004	44000	0.0004
26000	0.003	47000	0.0004
29000	0.0016	50000	0.0004

وإذا أعدنا الدراسة السابقة نفسها باستخدام حجم خطوة أكبر للخوارزمية ( $\mu = 0,01$ ) نجد أنّ التقارب يحصل بشكل أسرع بعد حوالي 2000 تكرار (الشكل (5-5)) وهو عدد أقل بكثير من عدد التكرارات في الحالة السابقة، ولكن سيعاني المرشح من ارتفاع قيم خطأ الحالة الثابتة MSE؛ إذ تتأرجح قيمها، وبالتالي تكون الخوارزمية غير مستقرة (الشكل (5-4))، لذلك فإنّ هذه الخوارزمية تشترك مع خوارزمية LMS في ميزة صعوبة المفاضلة المثلى بين معدل التقارب السريع وخطأ الحالة الثابتة المنخفض [78].



الشكل (5-4): نتائج تطبيق الخوارزمية المستخدمة ذات حجم الخطوة  $\mu = 0,01$  لتخفيض الضجيج النبضي.



الشكل (5-5): MSE(dB) للمرشح الذي يعمل وفق الخوارزمية المستخدمة ذات حجم الخطوة  $\mu = 0,01$ .

## 6.5. الاستنتاجات:

تؤكد عمليات المحاكاة فعالية الخوارزمية المتكيفة المستخدمة التي تعطي نتائج مرضية في تخفيض الضجيج النبضي؛ إذ تعدّ بسيطة وسهلة التنفيذ ومنخفضة التعقيد الحسابي في الوقت الذي تعجز فيه الطرق الأخرى عن تخفيض الضجيج النبضي ذو المطالات الكبرى، كما أنّ جعل قيمة البارامتر  $\beta$  متغيرة في كل تكرار يساهم في تجنب القيم المتطرفة لـ  $e(n)$  ويجعل تأثيرها محدوداً، وإنّ قيم MSE التي حصلنا عليها منخفضة جداً مقارنة مع الدراسة المرجعية [25] التي تعطي عند تخفيض الضجيج النبضي في نظام OFDM قيم MSE متأرجحة على المجال بين 10dB و -10dB ، وبالتالي فإنّ ذلك يساهم في زيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج بشكل كبير. كما يلعب اختيار طول المرشح (عدد الأوزان) تأثيراً إيجابياً في أداء المرشح المتكيف؛ حيث إنّّه إذا كان أقل من المحدّد فهذا سوف يسبب تقارب الخطأ إلى قيمة ثابتة بعيدة عن الصّفر، وهذا غير مرغوب، وبالمقابل إذا كان عدد الأوزان أكبر من المطلوب فسوف يتقارب الخطأ إلى الصّفر، ولكن عدد التكرارات للتقارب سوف يكون أكثر وهذا يعطي زيادة في الوقت من أجل تقارب المرشح، لذلك فإنّ اختيار طول المرشح يتمّ بالتجريب والخطأ من أجل الحصول على الطول المثالي.

**7.5. الخاتمة:** لقد درس هذا الفصل الضجيج النبضي الذي يعدّ أكثر أنواع الضجيج تشويهاً وضراً، إذ إنّّه يشوّه إشارة المعلومات بالكامل، وعلى الرّغم من وجود العديد من الخوارزميات المستخدمة لمعالجة الضجيج، إلّا أنّ معظمها يفترض أنّ النظام المتكيف يحصل على الخطأ عن طريق توزيع غوص، لذلك فقد تمّ في هذا الفصل استخدام خوارزمية جديدة لتخفيض الضجيج النبضي الذي لا يخضع الخطأ الناتج عنه لتوزيع غوص، وأظهرت الدراسة إمكانية تطبيق هذه الخوارزمية في أي نظام يتعرّض للضجيج النبضي، كما بيّنت تميزها بسهولة تنفيذها وإثبات فعاليتها في تحسين أداء النظام من ناحية القيمة المربعة الصّغرى للخطأ وانخفاض معدل خطأ البت، وهذا كلّهُ يساعد في زيادة الدّقة والكفاءة، كما يمكن توظيف الخوارزمية المستخدمة في التطبيقات الطبية

إذ إنّ الإشارات التي تستخدم لكشف أنواع مختلفة من أمراض الدماغ والقلب تتعرّض لمجموعة من أنواع الضجيج من ضمنها الضجيج النبضي؛ لذلك لتجنّب هذه المشكلة يجب إزالة إشارات التشويش عن طريق المرشح المتكيف [23].

## الفصل السادس: تحسين أداء خوارزمية LMS المستخدمة في المرشحات المتكيفة

## 1.6. مقدمة:

تتمثل الميزة الأساسية لخوارزمية LMS في الحصول على مركبات الأوزان بوساطة طريقة الهبوط المتدرج العشوائي باستخدام ثابت حجم الخطوة، وتعد أبسط الخوارزميات المستخدمة في المرشحات المتكيفة نظراً لبساطتها ومرونتها وسهولة تنفيذها وانخفاض تعقيدها الحسابي حيث تتطلب ذاكرة وعدد عمليات حاسوبية أقل لكن أداءها من ناحية معدل التقارب وقدرات الملاحقة يعتمد على انتشار القيم الذاتية لمصفوفة الارتباط الذاتي لإشارة الدخل، كما أنها تعاني من صعوبة تحقيق التوازن المثالي بين معدل التقارب والاستقرار، وهذا التوازن يتم التحكم به عن طريق بارامتر حجم الخطوة؛ إذ إن معدل التقارب يتناسب طردياً مع حجم الخطوة، بينما تتناسب دقة التقدير عكسياً معه مما يجعل عملية التوفيق بين هذين المتطلبين صعبة، إذ عندما يكون حجم الخطوة صغيراً نحصل على إشارة بدقة عالية ولكن على حساب بطء معدل التقارب، وبالمقابل فإن اختيار حجم خطوة كبير يؤدي إلى قدرات تتبع عالية، ولكن الحساب التقديري لا يكون جيداً، إذ تصبح الخوارزمية غير مستقرة، ويمكن أن تفقر متجاوزة القيم الصحيحة، وبالتالي لا يمكن إيجاد المركبات المثالية في هذه الحالة، ولكن في حال تم التغلب على هذه المشكلة تصبح هذه الخوارزمية هي الأكثر استخداماً نظراً لتحقيقها للمتطلبات المرغوبة، لذلك يقترح هذا الفصل تحسين أدائها عن طريق دمج اثنين من المرشحات المتكيفة المستعرضة التي تعمل وفق خوارزمية LMS على التوازي، ومن ثم تأخذ خوارزمية الدمج الخصائص الأفضل لكل مرشح، وهذا يساهم في تحسين قدرات الملاحقة وتخفيض خطأ الحالة الثابتة في الوقت نفسه وبالتالي الحصول على خرج كلي محسن، كما يقترح الفصل تحسين أداء الخوارزمية بدمج المرشحين المستعرضين على التسلسل إذ إن استخدام عدة مرشحات متكيفة وربطها على التسلسل ينقص التعقيد الحسابي للمرشح المتكيف ذي الرتبة العالية، حيث تتم عملية المعالجة وترشيح الضجيج على مرحلتين مما يساهم في تخفيض الضجيج بشكل كبير من الإشارة الحاملة للمعلومات، وبالتالي تشير النتائج إلى إمكانية حصولنا على تقارب أعلى وإشارة خرج أفضل مقارنة مع مرشح LMS المفرد.

## 2.6. خوارزميات الدمج:

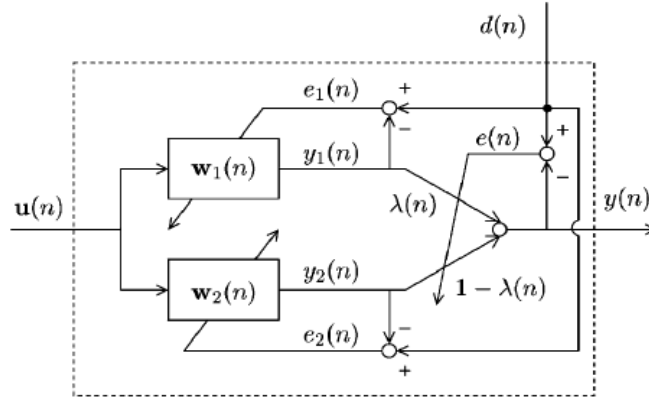
وهي طريقة لتحسين أداء المرشح المتكيف وهي تعتمد على دمج اثنين من مرشحات LMS المستعرضة ذات أحجام الخطوة المتباينة، حيث ينكيف المرشح الفردي بشكل مستقل باستخدام إشارة الخطأ فيه، بينما تتكيف بنية الدمج بوساطة خوارزمية التدرج العشوائي لتتقارب بدورها الخطأ للبنية بكاملها بحيث تعطي نتائج أفضل من حيث معدل التقارب السريع، وخطأ التباين المنخفض وبالتالي تحقق التوازن المثالي بين متطلبات الأداء هذه، وعندما تكون مكونات هذه المرشحات محققة لشروط معينة فإن عملية دمجها ستظهر تفوقاً على كل منها ونحصل في النهاية على جودة



محسنة للخرج الكلي وأداء ملاحقة محسن، لذلك فإنَّ كفاءة جمع المكونات بشكل مثالي تشكّل تحدياً صعباً وتستحق التحقيق.

### 1.2.6. تصميم المرشح المتكيف المتوازي:

يبين الشكل (6-1) منهجية الدمج للمرشح المتكيف، إذ يتم دمج مرشحين متكيفين مستعرضين يعملان على التوازي ويتكيفان بإشارة الدخّل نفسها، وفي اللحظة نفسها بحيث يقدر كل مرشح متكيف الاستجابة التنبؤية للقناة غير المعروفة باستخدام بيانات الدخّل نفسها، وإنَّ أحد هذين المرشحين سريع (المرشح العلوي) يتقارب بسرعة ويلحق التغيرات في شعاع الوزن المثالي والآخر بطيء (المرشح السفلي) ينقص تزايد الخطأ التربيعي المتوسط عند وصول المرشح إلى الحالة الثابتة مما يعطي فعالية في الجمع بين التقارب السريع وخطأ التباين المنخفض [2-38].



الشكل (6-1): دمج اثنين من المرشحات المتكيفة المستعرضة على التوازي.

وتكمن فكرة الدمج في النقل اللحظي للمركبات من المرشح المتكيف السريع إلى المرشح المتكيف البطيء بحيث يتكيف كل منهما باستخدام قواعده وأخطائه، وبالتالي نحصل على الخرج الكلي للمرشح عن طريق بارامتر الدمج  $\lambda(n)$ :

$$y(n) = \lambda(n)y_1(n) + [1 - \lambda(n)]y_2(n) \quad (6-1)$$

حيث  $y_1(n)$  و  $y_2(n)$  هي خرج المرشحين المستعرضين السريع والبطيء على الترتيب عند اللحظة  $n$  والموصولين على التوازي حيث إنَّ  $y_i(n) = w_i^T(n)u(n)$  وبالتعويض نجد:

$$\begin{aligned} y_1(n) &= w_1^T(n)u(n) \\ y_2(n) &= w_2^T(n)u(n) \end{aligned} \quad (6-2)$$

حيث تشير  $T$  إلى مصفوفة النقل و  $w_i^T(n)$  هي أشعة الوزن لمكوّن المرشح بحيث أنّ  $w_1(n)$  و  $w_2(n)$  تملكان الطول  $M$  نفسه ( $M > 0$ )، و  $u(n)$  هو شعاع الدخّل المشترك، أمّا  $\lambda(n)$  فهو بارامتر الدمج العددي الذي يأخذ قيمة في المجال  $[0,1]$  وهو يحسب من خلال إشارات الخرج للمرشحات الفردية التي تُدمج بعضها مع بعض عبر هذا البارامتر، ومن ثمَّ فإنَّ عملية الدمج عند

أخذ القيم المناسبة لـ  $\lambda(n)$  بشكل صحيح سوف تعطي الخصائص الأفضل للمرشحات الفردية  $w_1(n)$  و  $w_2(n)$  عند كل لحظة زمنية.

ولضبط البارامتر  $\lambda(n)$  فإننا نستخدم طريقة الانحدار الشديد، لتخفيض الخطأ التربيعي للمرشح الكلي، حيث إن  $e^2(n) = [d(n) - y(n)]^2$  ، وبالتالي بدلاً من التعديل بشكل مباشر على البارامتر  $\lambda(n)$  فإننا نضبط المتحول المساعد  $a(n)$  حيث نعرف  $\lambda(n)$  كتابع أسّي وفق العلاقة الآتية [39]:

$$\lambda(n) = \text{sgm}[a(n)] = \frac{1}{1+e^{-a(n)}} \quad (6-3)$$

حيث  $\text{sgm}(\cdot)$  : هي الدالة السينية وهي دالة رياضية لها منحنى على شكل حرف S، أمّا معادلة التحديث لـ  $a(n)$  فتعطى بالعلاقة الآتية:

$$\begin{aligned} a(n+1) &= a(n) - \frac{\mu_a}{2} \frac{\partial e^2(n)}{\partial a(n)} = a(n) - \frac{\mu_a}{2} \frac{\partial e^2(n)}{\partial \lambda(n)} \frac{\partial \lambda(n)}{\partial a(n)} \\ &= a(n) + \mu_a e(n) [y_1(n) - y_2(n)] \lambda(n) [1 - \lambda(n)] \end{aligned} \quad (6-4)$$

حيث  $a$ : هو الخطأ الابتدائي للوصلة التفرعية [79].

إن تعريف  $\lambda(n)$  عن طريق تابع أسّي يحافظ على قيمته ضمن المجال المرغوب  $[0,1]$  بالإضافة إلى أن قاعدة التكيف لـ  $a(n)$  تنقص الضجيج المتدرج العشوائي عند القيمتين الحديتين  $\lambda(n) = 0$  و  $\lambda(n) = 1$  مما يجعل خرج مرشح الدمج عند هاتين القيمتين قريباً من سلوك أحد مكونيه دون تدهور، بينما تسمح بالتكيف السريع من أجل القيم الوسطية لـ  $\lambda(n)$  ضمن المجال  $[0,1]$ .

وبالتالي سيستمر تحديث  $a(n)$  في العلاقة (6-4) وفقاً لقيم  $\lambda(n)$  حتى تصبح  $\lambda(n)$  قريبة جداً من القيم الحدية  $(0,1)$  حيث يتوقف التحديث عندها، وللتغلب على هذه المشكلة سوف نحدد قيم  $a(n)$  بحيث تقع ضمن المجال المتناظر  $[-a^+, a^+]$  والذي يوافق المجال المسموح لبارامتر الدمج  $[1-\lambda^+, \lambda^+]$  (حيث أن  $\lambda^+ = \text{sgm}(a^+)$  وهو ثابت قريب جداً من الواحد) أي أننا نستبدل  $\lambda(n)$  بـ 0 أو 1 عندما تكون  $a(n)$  قريبة من النقاط الحدية  $\pm a^+$  وبالتالي تعطى قيم  $\lambda(n)$  كما يأتي:

$$\lambda(n) = \begin{cases} 1, & a(n) \geq a^+ - \epsilon \\ \lambda(n), & a^+ - \epsilon > a(n) > -a^+ + \epsilon \\ 0, & a(n) \leq -a^+ + \epsilon \end{cases} \quad (6-5)$$

حيث  $\epsilon$  هو ثابت موجب صغير، وبالتالي فإن التغير يكون باتجاه  $\lambda(n) = \lambda^+$  خلال التقارب الابتدائي، بينما بعد عدد من التكرارات سيصبح  $\lambda(n) = 1 - \lambda^+$  خلال الفترات الثابتة، وبالتالي فإن  $y(n)$  سيعطي نتائج قريبة جداً من المطلوب، وهذا ما يجعل أداء مرشح الدمج في الحالة الثابتة أفضل من أداء أي مكون من المرشحات الفردية.

### 1.1.2.6. خطأ الحالة الثابتة لمرشح الدمج:

من المعتاد لقياس أداء المرشح أن نحسب تزايد خطأ الحالة الثابتة EMSE والذي يعرف بأنه تجاوز القيمة الأصغر للخطأ التربيعي المتوسط وهذا يمكن تحقيقه بوساطة المرشح ذي الطول  $M$ ، وعند تحليل الحالة الثابتة نجد أنه يثبت على قيمة محددة عندما تنتهي  $n$  إلى  $\infty$ .

وتعطي إشارات الخطأ  $e_1(n)$  و  $e_2(n)$  للمرشحين الأول والثاني على التوالي بالعلاقين الآتيتين:

$$e_1(n) = d(n) - y_1(n) \quad (6-6)$$

$$e_2(n) = d(n) - y_2(n) \quad (6-7)$$

ومن ثم فإننا للحصول على تزايد خطأ الحالة الثابتة EMSE لمرشح الدمج، نحسب في البداية إشارة الخطأ  $e(n)$  والتي تعرف بأنها الفرق بين النسخة المعرضة للضجيج  $d(n)$  وإشارة الخرج الحقيقية  $y(n)$  لمرشح الدمج المتكيف وتعطى بالعلاقة الآتية [80]:

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (6-8)$$

وبتعويض العلاقات (6-1)، (6-6)، (6-7) في العلاقة (6-8) نحصل على العلاقة النهائية لـ  $e(n)$  لبنية الدمج كما يلي:

$$e(n) = \lambda(n)e_1(n) + (1 - \lambda(n))e_2(n) \quad (6-9)$$

وبالتالي يعطى خطأ الحالة الثابتة (مربع الفرق بين الإشارة الحقيقية قبل تعرضها للضجيج  $S(n)$  وإشارة الخطأ  $e(n)$ ) بالعلاقة الآتية:

$$MSE = (S(n) - e(n))^2 \quad (6-10)$$

وكما ذكرنا سابقاً فإن مرشحات LMS تحدّث من خلال التكرار، وهذا التحديث مرتبط بشكل محدّد وإحصائي بكل من إشارتي الدّخل والخطأ، وبالتالي فإن قاعدة التكيف لكل مرشح تعطى بالعلاقة:

$$w_1(n+1) = w_1(n) + \mu_1 e_1(n)u(n)$$

$$w_2(n+1) = w_2(n) + \mu_2 e_2(n)u(n)$$

لذلك عند دراسة أداء الحالة الثابتة لمرشح الدمج المكوّن من مرشحي LMS السابقين نجعل الاختلاف الوحيد هو حجم الخطوة بحيث يجب تحقق شرط الدمج  $(\mu_1 > \mu_2)$ ، وهذا يعني أنّ المرشح الأسرع (ذا حجم الخطوة الأكبر  $\mu_1$ ) سوف يتقارب بسرعة ويلحق تغييرات شعاع الوزن المثالي، بينما المرشح الأبطأ (ذو حجم الخطوة الأصغر  $\mu_2$ ) سوف ينقص تزايد القيمة المربعة لخطأ الحالة الثابتة، ومن ثم فإن مرشح الدمج سوف يبلغ القيمة الثابتة للخطأ (EMSE) لمرشح LMS ذي حجم الخطوة  $\mu_2$ . أمّا في حال  $(\mu_1 = \mu_2)$  فإن خرج المرشحين سيبقى نفسه وبالنتيجة ستعود عملية الدمج إلى حالة المرشح الفردي.

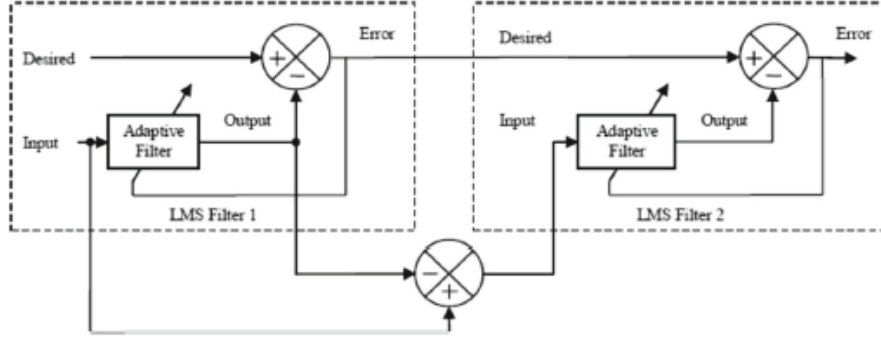
### 2.1.2.6. أداء الملاحقة لمرشح الدمج:

بما أن منهجية الدمج هذه تأخذ خصائص الملاحقة الأفضل لكل مرشح وبالتالي فهي قادرة على تحسين قدرات الملاحقة عن طريق بارامتر الدمج  $\lambda(n)$  حيث يمكن التحكم بحجم الخطوة لمرشحات LMS المستخدمة كما يلي [2]:

- إذا كانت  $\lambda(n) > \beta$  (حيث  $\beta$  القيمة الحدية القريبة من 1) فإن حجم الخطوة لكل مرشح سوف يضرب بـ  $r$  ( $r > 1$ )؛ أي إن المرشح الأول سيتكيف بشكل أسرع، وبالتالي يظهر مرشح الدمج التقارب السريع لمرشح LMS الأول (المرشح الأسرع  $\mu_1$ ).
- أما إذا كانت  $\lambda(n) < 1 - \beta$  فسوف ننقص حجمي الخطوة لكلا المرشحين (نقسم  $\mu_1$  و  $\mu_2$  على  $r$ ) وبالتالي نحصل على قيمة EMSE المنخفضة للمرشح ذي حجم الخطوة  $\mu_2$  مما يؤدي إلى تخفيض EMSE لبنية الدمج.

### 2.2.6. تصميم المرشح المتكيف التسلسلي:

يظهر الشكل (6-2) بنية تسلسلية لمعالجة مكونة من مرحلتين، بحيث تعطي أيضاً نتائج أفضل للتكيف والأداء مقارنة مع بنية LMS المفردة؛ إذ إن إشارة الخرج لمرشح LMS الأول هي عبارة عن مكون الضجيج الذي يتم التخلص منه من خلال المرشح الأول، كما يطرح هذا الخرج نفسه من الضجيج المرجعي الداخل لمرشح LMS الأول ويستخدم الناتج كضجيج دخل مرجعي لمرشح LMS الثاني، بينما تستخدم إشارة الخطأ لمرشح LMS الأول كإشارة مرغوبة (Desired) لمرشح LMS الثاني [81-82].



الشكل (6-2): بنية إلغاء الضجيج التسلسلية باستخدام LMS.

وإن الخوارزمية للمرشح الأول توصف كما يأتي:

$$y(n) = W^T(n)X(n) \quad (6-11)$$

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (6-12)$$

$$= d(n) - W^T(n)X(n)$$

$$W(n+1) = W(n) + X(n)\mu e(n) \quad (6-13)$$

$$= W(n) + X(n)\mu [d(n) - W^T(n)X(n)]$$

$$= W(n) + X(n)\mu d(n) - X(n)W^T(n)X(n)\mu$$

حيث إنَّ  $d(n)$  هي الإشارة المرغوبة ،  $e(n)$  إشارة الخطأ للمرشح الأول ،  $y(n)$  خرج المرشح المتكيف الأول،  $\mu$  حجم الخطوة للمرشح الأول ،  $W(n)$  شعاع وزن المرشح الأول،  $X(n)$  شعاع إشارة الدّخل للمرشح الأول،  $L$  طول مرشح LMS الأول.

ونعبر عن  $W(n)$  و  $X(n)$  كما يأتي:

$$W(n) = \begin{bmatrix} w_0(n) \\ w_1(n) \\ \dots \\ w_{L-2}(n) \\ w_{L-1}(n) \end{bmatrix} \quad \& \quad X(n) = \begin{bmatrix} x(n) \\ x(n-1) \\ \dots \\ x(n-L) \\ x(n-L+1) \end{bmatrix}$$

أمّا البارامترات المستخدمة لنمذجة مرشح LMS الثاني فيرمز لها بالرمز  $c$  وتوصف كما يأتي:

$$y_c(n) = W_c^T(n)X_c(n) \quad (6-14)$$

$$X_c(n) = X(n) - y(n) \quad (6-15)$$

$$d_c(n) = e(n) \quad (6-16)$$

$$e_c(n) = d_c(n) - y_c(n) \quad (6-17)$$

حيث أنّ  $d_c(n)$  هي الإشارة المرغوبة للمرشح الثاني ،  $e_c(n)$  هي إشارة الخطأ للمرشح الثاني ،  $y_c(n)$  إشارة خرج المرشح المتكيف الثاني،  $\mu_c$  حجم الخطوة للمرشح الثاني ،  $W_c^T(n)$  شعاع الوزن للمرشح الثاني،  $X_c(n)$  شعاع إشارة الدّخل للمرشح الثاني، ونعبر عن  $W_c(n)$  و  $X_c(n)$  كما يأتي [82]:

$$W_c(n) = \begin{bmatrix} w_{0,c}(n) \\ w_{1,c}(n) \\ \dots \\ w_{L-2,c}(n) \\ w_{L-1,c}(n) \end{bmatrix} \quad \& \quad X_c(n) = \begin{bmatrix} x_c(n) \\ x_c(n-1) \\ \dots \\ x_c(n-L) \\ x_c(n-L+1) \end{bmatrix}$$

بتعويض العلاقة ((6-15)) في العلاقة ((6-14)) نحصل على العلاقة النهائية لـ  $y_c(n)$  كما يأتي:

$$y_c(n) = W_c^T(n)X(n) - W_c^T(n)y(n) \quad (6-18)$$

كذلك بتعويض العلاقتين ((6-16)) و ((6-18)) ومن ثمّ العلاقة ((6-12)) في العلاقة ((6-11)) نحصل على العلاقة الأخيرة التي تعبّر عن إشارة الخطأ للبنية التسلسلية كما يأتي:

$$e_c(n) = d(n) - [W^T(n) + W_c^T(n)]X(n) + W_c^T(n)y(n) \quad (6-19)$$

أما معادلة تحديث الوزن لمرشح LMS الثاني فتعطي كما يأتي:

$$W_c(n+1) = W_c(n) + X_c(n)\mu_c e_c(n)$$

كما نقوم بتعويض العلاقتين ((6-15)) و ((6-19)) في العلاقة السابقة للحصول على العلاقة الأخيرة لتحديث الوزن للمرشح التسلسلي الثاني كما يأتي [82]:

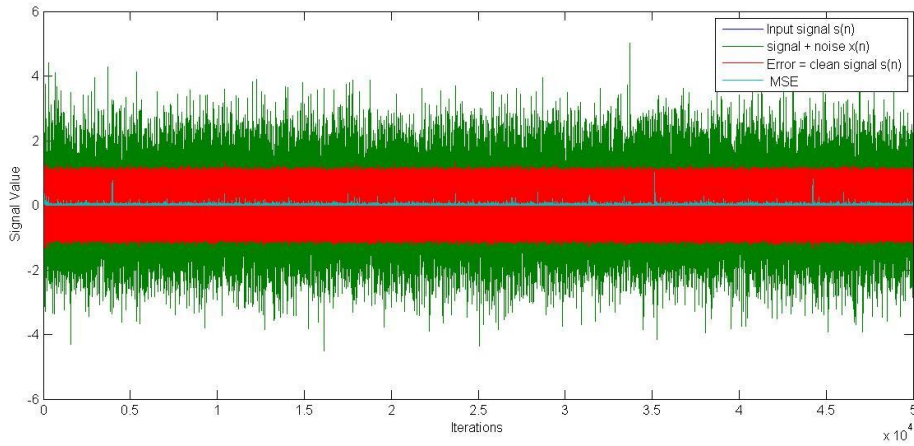
$$W_c(n+1) = W_c(n) + [X(n) - y(n)]\mu_c [d(n) - \{W^T(n) + W_c^T(n)\}X(n) + W_c^T(n)y(n)] \quad (6-20)$$

### 3.6. النتائج ومناقشتها:

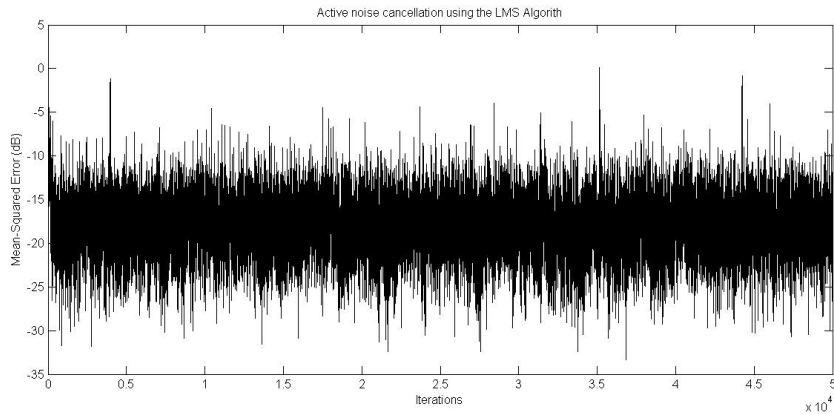
#### 1.3.6. من أجل مرشحات LMS الموصولة على التوازي:

ندرس في البداية مرشح LMS مفرداً إشارة دخله عبارة عن إشارة جيبية تتعرض لضجيج غوص الأبيض، ويعمل وفق حجم خطوة  $\mu = 0.01$  ومن ثم ندرس المرشح نفسه لكن يعمل عند حجم خطوة  $\mu = 0.001$  ، وبعدها نقوم بدراسة حالة مرشحي LMS الموصولين على التوازي حيث تكون قيم البارامترات كما يلي [38]:

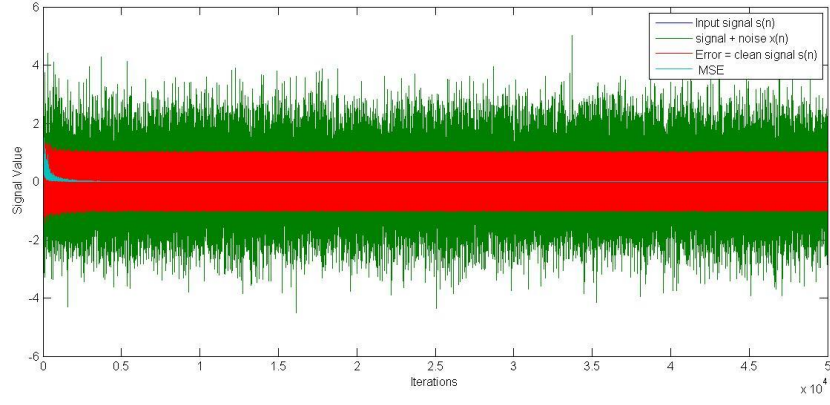
$$W_2(0) = 0, W_1(0) = 0, \mu_a = 100, \mu_2 = 0.001, \mu_1 = 0.01, L = 10, r = 4, a^+ = 4, \epsilon = 10^{-4}, \lambda(0) = 0.5, a(0) = 0$$



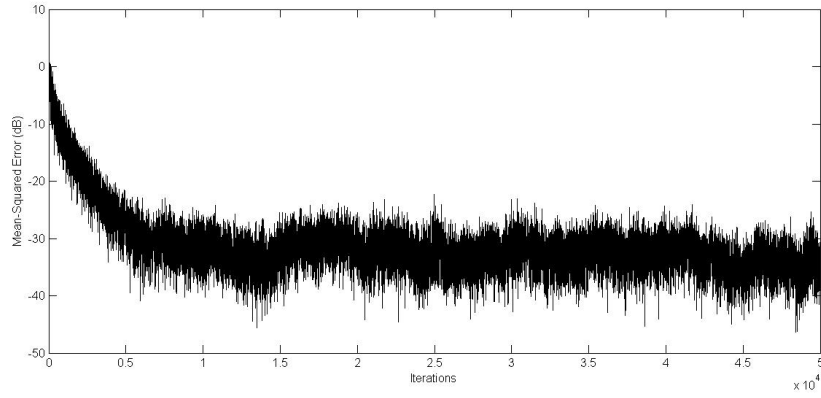
الشكل (6-3-a): نتائج تطبيق خوارزمية LMS ذات حجم الخطوة  $\mu_1 = 0.01$ .



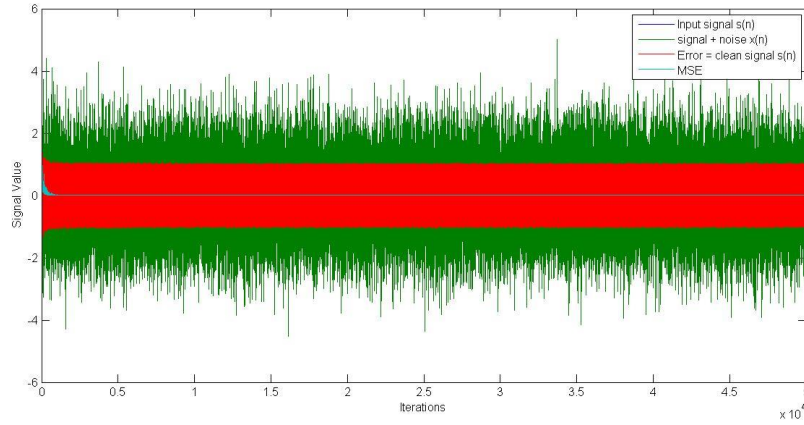
الشكل (6-3-b): MSE(dB) لمرشح LMS ذو حجم الخطوة  $\mu_1 = 0.01$ .



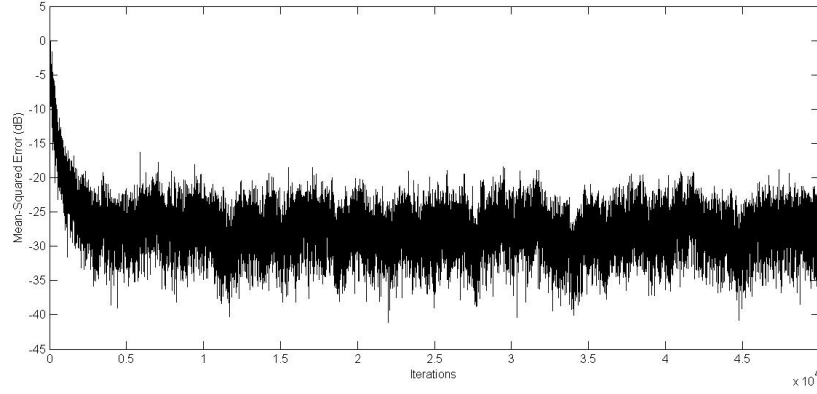
الشكل (6-4-a): نتائج تطبيق خوارزمية LMS ذات حجم الخطوة  $\mu_2 = 0.001$ .



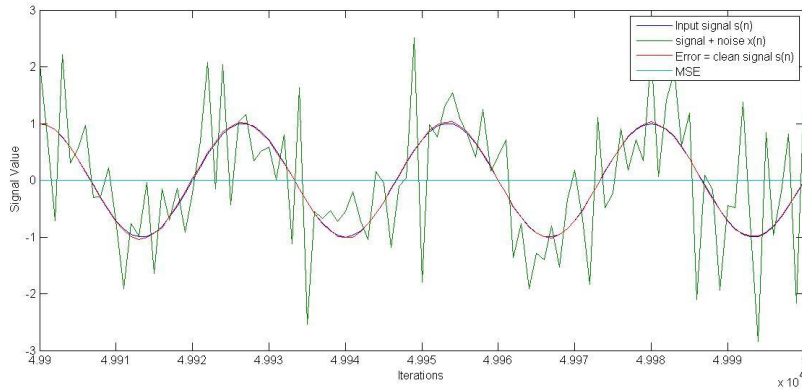
الشكل (6-4-b): MSE (dB) لمرشح LMS ذي حجم الخطوة  $\mu_2 = 0.001$ .



الشكل (6-5-a): نتائج تطبيق خوارزمية الدمج التفرعية  $(\mu_1 & \mu_2)$ .



الشكل (6-5 -b): MSE(dB) لمرشح الدمج التفرعي ( $\mu_1$  &  $\mu_2$ ).



الشكل (6-6): تقريب للنتائج التي تظهر في الشكل (6-5 -a).

نلاحظ أن المرشح ذا حجم الخطوة 0.01 يتقارب بسرعة كبيرة بعد عدد قليل من التكرارات الشكل (6-3-b)، لكنه يعاني من ارتفاع قيم الحالة الثابتة EMSE، إذ تتأرجح قيمها، وبالتالي تكون الخوارزمية غير مستقرة الشكل (6-3-a)، بينما يعاني المرشح ذو حجم الخطوة 0.001 من بطء معدل التقارب؛ إذ تتقارب الخوارزمية بعد حوالي 9000 تكرار، الشكل (6-4-b)، ولكن بالمقابل يكون تزايد قيم خطأ الحالة الثابتة منخفضاً، والخوارزمية مستقرة (الشكل (6-4-a))، أما في حال دمج المرشحين السابقين معاً، فنجد أن خوارزمية الدمج تأخذ ميزة معدل التقارب السريع للمرشح الأول، فكما يظهر في الشكل (6-5-b) تتقارب هذه الخوارزمية بعد حوالي 4000 تكرار (أقل من نصف معدل التقارب للمرشح البطيء)، كما تأخذ في الوقت نفسه ميزة تزايد خطأ الحالة الثابتة EMSE المنخفض للمرشح الثاني الشكل (6-5-a)، ويبين الجدول (6-1) مقارنة بين قيم EMSE في حالة مرشح LMS السريع (ذي حجم الخطوة 0.01) ومرشح الدمج.

ونفسر ما ورد أعلاه بأنه عندما يعمل مرشحان من النوع نفسه ونستخدم حجم خطوة مختلف، فإن المرشح الأسرع (ذا حجم الخطوة الأكبر  $\mu_1$ ) سوف يتقارب بسرعة ويلاحق البارامترات المتغيرة بسرعة أيضاً، أي إنه خلال فترة التكيف الأولي وبعد حدوث التغيرات المفاجئة في شعاع الوزن المثالي سوف يصل المرشح الأول إلى الحالة الثابتة للخطأ، وفي أثناء ذلك فإن المرشح البطيء



(ذا حجم الخطوة الصّغير  $\mu_2$ ) سوف يتأخّر عن المرشّح السّريع إلى حدّ كبير؛ ممّا يجعل المرشّح الكلّي يتوقّف عن التّقارب منتظراً المرشّح الأبطأ للوصول إلى مستوى الأداء نفسه للمرشّح الأوّل (القيمة الصّغرى للخطأ)، و بعد أن يلتقي المرشّح البطيء مع المرشّح السّريع، فإنّ البنية الكلّية لمرشّح الدّمج سوف تستأنف تحسين الـ EMSE؛ بحيث يجعل المرشّح الثّاني تزايد القيمة المربّعة لخطأ الحالة الثّابتة صغيراً خلال هذه الفترة، كما أنّ شعاع الوزن المثالي لهذا المرشّح سوف يتغيّر ببطء وهذا يبطّئ التّقارب الكلّي لمرشّح الدّمج، وعندها فإنّ مرشّح الدّمج سوف يبلغ قيمة EMSE لمرشّح LMS البطيء.

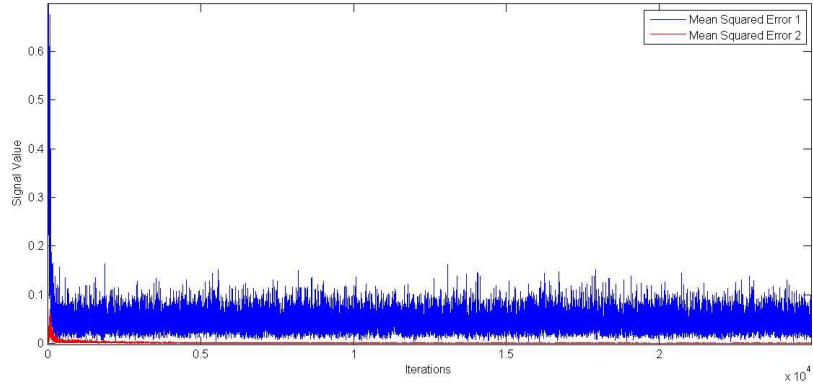
وإنّ الطّريقة التي يتغيّر بها بارامتر حجم الخطوة في أثناء عمليّة الدّمج مهمّة جدّاً، لذلك لتحقيق الأداء الأفضل ينبغي أن يقفز حجم الخطوة إلى الخطوة التّالية الأصغر في اللّحظة المناسبة وعند حدوث ذلك سيتقارب EMSE بسلاسة وسرعة إلى قيم الحالة المستقرّة بدون أن يظهر لدينا نقطة انكسار على منحنى MSE كما هو موضّح في الشّكل (6-5-a)، وفي نهاية عمليّة التّرشّيح نجد أنّ خوارزمية الدّمج ستمتلك كلاً من الملاحقة السّريعة و EMSE المنخفض.

الجدول (6-1): مقارنة تزايد خطأ الحالة الثّابتة EMSE بين مرشّح التّقارب السّريع (0.01) ومرشّح الدّمج.

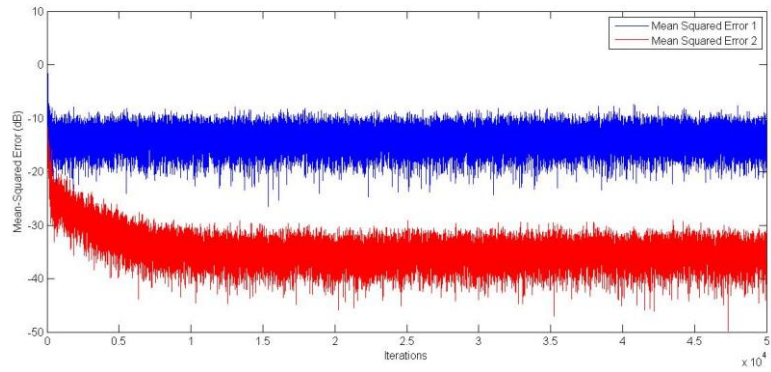
التكرارات	خوارزمية LMS المعيارية ( $\mu=0.01$ )	خوارزمية الدّمج	التكرارات	خوارزمية LMS المعيارية ( $\mu=0.01$ )	خوارزمية الدّمج
600	0.0448	0.0433	23000	0.0195	0.00061
700	0.0532	0.0308	26000	0.0173	0.00060
800	0.0362	0.0265	29000	0.0103	0.00059
900	0.0198	0.0155	32000	0.0221	0.00056
1000	0.0254	0.0093	35000	0.0151	0.00038
4000	0.0233	0.0040	38000	0.1450	0.00040
7000	0.0299	0.0035	41000	0.0175	0.00036
10000	0.0187	0.0028	44000	0.0398	0.00036
13000	0.0129	0.0013	47000	0.0043	0.00034
17000	0.1128	0.00084	50000	0.0374	0.00021
20000	0.0085	0.00064			

### 2.3.6. من أجل مرشّحات LMS الموصولة على التسلسل:

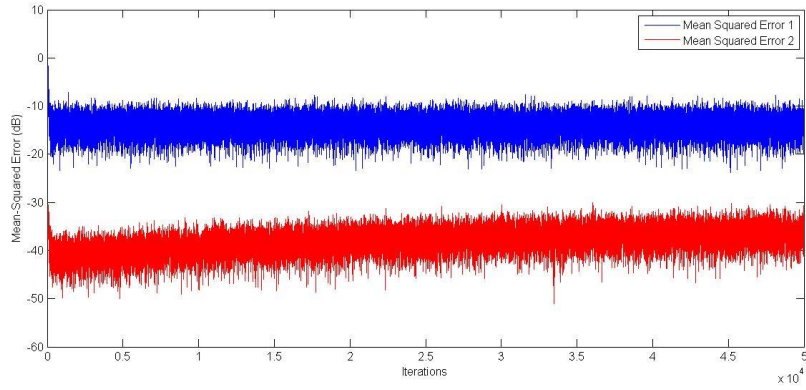
في حالة LMS التسلسليّة ذات مرحلتى التّرشّيح ( $\mu_c$  و  $\mu$ ) و أطوال المرشّحات المتساوية ( $L = 1$  لكل مرشّح) مع الأخذ بالاعتبار أنّ الأوزان الابتدائيّة للمرشّحات صفريّة ( $W_c(0) = 0$ ،  $W(0) = 0$ ) فإنّنا ندرس من أجل ( $\mu = \mu_c = 0.01$ ) وكذلك من أجل ( $\mu = 0.001$  و  $\mu_c = 0.001$ ) و ( $\mu = 0.01$  و  $\mu_c = 0.001$ ).



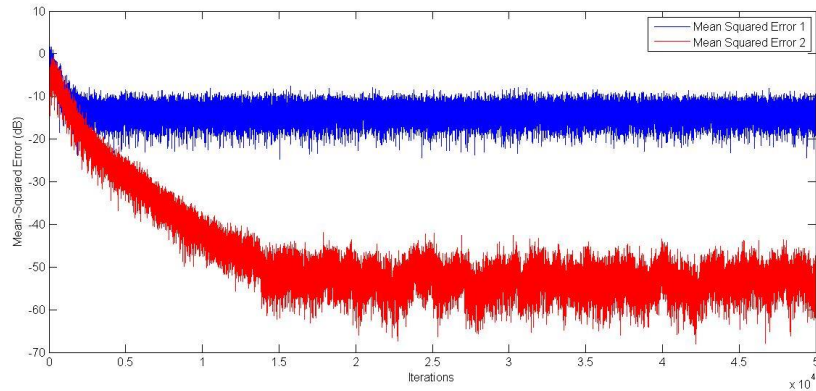
الشكل (6-7): MSE لمرشحي الدمج التسلسلي ( $\mu = \mu_c = 0.01$ ).



الشكل (6-8-a): MSE(dB) لمرشحي الدمج التسلسلي ( $\mu = \mu_c = 0.01$ ).



الشكل (6-8-b): MSE(dB) لمرشحي الدمج التسلسلي ( $\mu = 0.01$  &  $\mu_c = 0.001$ ).



الشكل (6-8-c): MSE(dB) لمرشحي الدمج التسلسلي ( $\mu = 0.001$  &  $\mu_c = 0.01$ ).

نلاحظ من الأشكال السابقة تحسّن أداء المرشّح بشكل كبير الشّكل (6-7) حيث ينخفض خطأ الحالة الثّابتة للمرشّح الكليّ MSE2 عن خطأ الحالة الثّابتة MSE1 في حالة المرشّح المفرد (المرحلة الواحدة) وهذا موضّح في الجدول الآتي:

الجدول (6-2): مقارنة MSE2 للمرشّح التسلسلي (مرحلتين) و MSE1 للمرشّح المفرد (مرحلة واحدة).

التكرارات	MSE1	MSE2	التكرارات	MSE1	MSE2
600	0.0180	0.0058	23000	0.0313	0.00030
700	0.0214	0.0057	26000	0.0593	0.00026
800	0.0587	0.0049	29000	0.0159	0.00020
900	0.0372	0.0047	32000	0.0264	0.00016
1000	0.0566	0.0035	35000	0.0381	0.00011
4000	0.0708	0.0021	38000	0.0668	0.000058
7000	0.0454	0.0011	41000	0.0520	0.000042
10000	0.0275	0.00052	44000	0.0436	0.000042
13000	0.0603	0.00050	47000	0.0655	0.000041
17000	0.0699	0.00044	50000	0.0385	0.000040
20000	0.0438	0.00040			

كما نلاحظ من الأشكال السابقة أنّه يمكن التّحكّم بمعدّل التقارب في LMS التسلسليّة مع المحافظة على القيم المنخفضة لـ MSE2 عن طريق التّحكّم بحجم الخطوة للمرشّحين معاً، حيث في حالة ( $\mu = \mu_c$ ) السابقة تتقارب إشارة الخطأ بعد حوالي 9300 تكرار الشّكل (6-8-a)، بينما يمكن الحصول على معدّل تقارب سريع جداً (بعد حوالي 360 تكرار) عند وصل المرشّحين تسلسلياً وجعل المرشّح الأوّل أسرع من الثّاني ( $\mu > \mu_c$ ) كما في الشّكل (6-8-b)، أمّا معدّل التقارب الأبطأ لإشارة الخطأ (بعد حوالي 16735 تكرار) فيمكن الحصول عليه بالعكس عندما ( $\mu < \mu_c$ ) الشّكل (6-8-c).

وإذا طبقنا الخوارزمية السابقة مرة أخرى من أجل ( $L_1 = L_2 = 2$ ) فإننا نحصل على معدّل تقارب لمرشّح LMS التسلسلي (عندما  $L = 1$  لكل مرشّح) أفضل من حالة ( $L = 2$ ) نظراً لزيادة التّعقيد الحسابي عند زيادة طول المرشّح والذي يقود بدوره إلى زيادة زمن التقارب، وبالتالي عند تحقق الشرط ( $\mu_c = N\mu$  &  $N > 1$ ) فإن ANC يتصرف كلاجي ضجيج ضيق الحزمة عندما ( $L = 1$ ) وعريض الحزمة عندما ( $L \geq 2$ ).

#### 4.6. الاستنتاجات:

تستخدم خوارزمية LMS على نحو واسع بسبب بساطتها وقوتها تجاه إحصائيات الإشارة ولكن عندما يكون حجم الخطوة كبيراً فإنّها تشير إلى تقارب ابتدائي سريع ولكن تظهر قيمة خطأ مربّع كبير في الحالة الثّابتة، وعلى العكس فإنّ حجم الخطوة الصّغير يظهر ببطء في التقارب ولكن ينتج عنه قيم حالة ثابتة صغيرة.

أما منهجيات الدمج باستخدام LMS فهي طريقة فعالة لتطوير أداء المرشحات المتكيفة، بحيث يتم تحسين أداء المرشح المتكيف وذلك بجمع الميزات الأفضل لكل مكون، وبالتالي عند تحقيقها لشروط معينة فسوف تعطي عند دمجها خرجاً أفضل من حالة كل مرشح على حدة؛ إذ إن بنية الدمج لا تأخذ خصائص الملاحقة الأفضل لكل مرشح LMS فحسب إنما تحقق مستوى أدنى لـ EMSE مقارنة بأي من المكونات، وبالتالي نتوصل إلى تصميم يسمح بتحقيق التوازن المثالي بين التقارب الابتدائي السريع وخطأ تباين الحالة الثابتة المنخفض، وطالما أن أداءها أفضل مقارنة بخوارزمية LMS المعيارية من ناحية MSE ومعدل التقارب السريع والاستقرار، فهذا يجعلها تستخدم في تطبيقات الزمن الحقيقي، ومن ناحية أخرى فإن أداء خوارزميات الدمج قريب من أداء خوارزمية RLS التي لا يمكن تنفيذها في الزمن الحقيقي بسبب تعقيدها الحسابي، وبما أن خوارزمية RLS تعطي نتائج جيدة ولكن تنفيذها صعب وتعقيدها الحسابي كبير فإن LMS هي الخوارزمية المستخدمة بشكل أوسع في المرشحات المتكيفة من أجل تطبيقات الزمن الحقيقي [83]. تتميز البنية التسلسلية بإمكانية عملها باستخدام وزن واحد ( $L = 1$ ) وهذا يخفف التعقيد الحسابي بشكل كبير جداً، وبخاصة في المرشحات ذات الرتبة العالية، إذ إن أداء خوارزمية LMS يتدهور عندما يكون عدد معاملات النظام كبيراً نسبياً (زيادة طول المرشح المتكيف) وهذا يسبب مشكلة في التطبيقات الصوتية التي تتطلب مرشحات متكيفة طويلة لنمذجة مسار الاستجابة مثل تطبيقات إلغاء الصدى، لذلك فإن إجراء تحسينات على هذه الخوارزمية بوضع المرشحين بشكل متسلسل يحقق تقارباً مبدئياً سريعاً، ولكن سلبية أنه لا يعطي نتائج جيدة عندما تحدث تغيرات سريعة للملاحقة في المرشح المتكيف، ولذلك يفضل في هذه الحالة استخدام الوصل التفرعي للحصول على نتائج أكثر دقة.

ويمكن إجراء الدراسة السابقة من عدة جوانب أخرى مثل:

- تحليل مكونات المرشح المتعددة أو الدمج باستخدام بارامتر دمج مختلف عند كل نقطة تفرع.
- دمج مرشحات متكيفة من عائلات مختلفة (مثل LMS و RLS) للحصول على التقارب السريع و الحد من عدد التكرارات من أجل الوصول إلى طول المرشح المثالي.
- دمج مرشحين أحدهما متكيف والآخر ذو مركبات ثابتة، ويتم تحديث المرشح الثابت بنسخ جميع المركبات من المرشح المتكيف عندما يظهر أداء أفضل من المرشح الثابت.
- في حال وجود العديد من إشارات الضجيج الخارجية يمكن ترشيحها عن طريق وضع عدة مرشحات طالما أن إشارات الضجيج المرجعية متاحة في النظام.
- ويمكن أيضاً تكرار الإجراءات نفسها مع الخوارزميات ذات حجم الخطوة المتغيرة زمنياً وتقسيم الترشيح المستعرض المتكيف بحيث يقسم شعاع الدخول إلى جزء ذي تردد منخفض

وجزء ذي تردّد عال، ويطبّق كل جزء بشكل منفصل على خوارزمية التّرشيح المتكيّفة ممّا يقود إلى الحصول على الخوارزمية المتكيّفة ذات الحزمة الفرعية.

**5.6. الخاتمة:** لقد تمّ في هذا الفصل إيجاد الخوارزمية التي تجمع بين التّعقيد الحسابي المنخفض لـ LMS والأداء الجيّد لـ RLS ، أي إنّ تمّ البحث عن أساليب تحسين أداء خوارزمية LMS مع الحفاظ على التّعقيد الحسابي المنخفض لها أو مع زيادة معتدلة له مقارنة مع أداء الخوارزميات الأخرى المعقّدة حسابياً والتي تعطي النتائج نفسها تقريباً، ويتمّ هذا التّحسين عن طريق دمج اثنين من مرشّحات FIR المستعرضة التي تعمل وفقاً لخوارزمية LMS، وبالتالي عند تحقيق شروط معيّنة ستعطي عملية الدّمج الخصائص الأفضل لكل منهما، وهذا يحقّق معدّل تقارب عالياً جيّداً ويساهم في القضاء على الضّجيج بنسبة كبيرة جيّداً، كما درس هذ الفصل حالتين للدّمج؛ إحداهما يتمّ فيها وصل مرشّحين؛ أحدهما سريع والآخر بطيء على التّوازي، والأخرى يتمّ فيها الوصل على التّسلسل لهذين المرشّحين، ممّا يساهم في القضاء على مساوئ خوارزمية LMS التّقليدية والحصول على النتائج نفسها تقريباً مقارنة بالخوارزميات الأخرى الأكثر تعقيداً، وهذا ما يجعلها ملائمة لتطبيقات الزّمن الحقيقي.

## خاتمة البحث:

### الاستنتاجات:

لقد تمت عمليات معالجة الضجيج والتداخل في الأنظمة الخلوية على مستوى الإشارة اللاسلكية المرسل في الفضاء الحر، وبغض النظر عن أجيال النظام الخلوي، وتقنيات النفاذ المتعدد المستخدمة؛ لذا يعدّ الترشيح المتكيف ملائماً للتخفيف من مظاهر الضجيج، والتداخل، حتى مع وجود التحسينات والتقنيات المختلفة التي تحاول الحد من أثر ذلك؛ نظراً لبساطة استخدامه وانخفاض تكلفته، وقد تمّ اختيار خوارزمية LMS التي تعدّ أبسط الخوارزميات، وأقلها تعقيداً حسابياً لتكون ملائمة لعمل هذه الأنظمة في الزمن الحقيقي.

تناول البحث التخفيف من الضجيج الغوسي الأبيض المضاف المرافق للإشارة اللاسلكية في أنظمة الاتصالات جميعها والذي لا يمكن القضاء عليه بشكل كامل، إنّما يمكن تخفيف أثره، فقد أثبت المرشح المتكيف قدرته على العمل في بيئة الضجيج العشوائي السيئة من خلال قيم MSE التي تمّ الوصول إليها.

أثبتت النتائج قدرة المرشح المتكيف على تخفيض آثار نوعي التداخل التي تعاني منها الأنظمة الخلوية بشكل رئيسي وهي تداخل القناة المشتركة والقناة المجاورة، فقد تمّ استخدام المرشح المتكيف الذي يعمل على مبدأ التنبؤ الخطي نظراً لغياب الإشارة المرجعية في هذا النوع من الأنظمة، وبذلك تكون آلية عمله هذه مناسبة جداً لمعالجة التداخل، والحصول على الإشارة النظيفة من الإشارة المشوشة المتداخلة مع القنوات المشتركة والمجاورة.

وبما أنّه يمكن تصميم المرشح المتكيف كمرشح شقوق لإلغاء التداخل ضيق الحزمة، فقد تمّ توظيف هذه البنية لتخفيض تداخل القناة المجاورة في الأنظمة التي تعاني فقط من هذا النوع من التداخل والحساسية لانزياح التردد، وأثبتت النتائج إمكانية ترشيح التداخل ضيق الحزمة مع ترك الإشارة دون تغيير بالاعتماد على عملية التكيف التي تضمن حدوث الإلغاء بدقة عند التردد الموافق للإشارة المرجعية المراد إزالتها.

اعتمدت الآلية السابقة في تخفيض تداخل القناة المشتركة والمجاورة أيضاً لتخفيض التداخل متعدد المسارات الذي يمكن أن تتعرض له الإشارة اللاسلكية في بعض الأحيان عند وجود الحواجز والعوائق التي تعترض طرق انتشارها وبخاصة في المدن على الرغم من استخدام التقنيات المختلفة والحديثة التي تحاول التخفيف من أثر ذلك قدر الإمكان.

درس البحث أيضاً تأثير الضجيج النبضي الذي يؤثر بشكل سلبي وبخاصة عندما تكون تقنية النفاذ المستخدمة هي المزج بتقسيم التردد المتعامد، وأثبت المرشح المتكيف باستخدام خوارزمية

العمل المستخدمة على الرغم من بساطتها فعاليتها في تخفيف هذا الضجيج، وتحسين جودة الإشارة المستقبلية.

وفي نهاية البحث كان لابد من تحسين أداء المرشح المتكيف عن طريق خوارزمية العمل المستخدمة لقيادته، فقد تم العمل على إيجاد خوارزمية دمج لمرشحات LMS بحيث تعطي النتائج الأفضل التي يمكن الحصول عليها باستخدام خوارزمية RLS التي لا يمكن اعتمادها في أنظمة الزمن الحقيقي.

#### الأعمال المستقبلية:

- يمكن الإلغاء المتكيف للضجيج، ليس فقط على مستوى الإشارة اللاسلكية إنما في السماعات الرأسية وسماعات الهاتف المحمول أيضاً؛ إذ إنه من الضروري زيادة مستوى إشارات الكلام وبخاصة عند الأشخاص الذين يعانون من ضعف السمع ولكن التضخيم هنا لا يكون حلاً، إذ إنه لا ينقص سوء الفهم وإنما يزيد طاقة الضجيج، لذلك تكون الطريقة المفضلة هي توظيف مكرفونين (بمنزلة حساسين) مع نظام متكيف، بحيث يمثل المرشح المتكيف في هذه الحالة نموذجاً لتابع النقل للأذن.

- كما يمكن إنشاء نظام الإلغاء المتكيف للضجيج ANC على شريحة (ARM Mini 2440 SBC) داخل الجهاز المحمول، والتي تستخدم كلوحة هدف لإنشاء تطبيق في الأجهزة المحمولة التي تعمل على نظام الأندرويد؛ إذ يستخدم المرشح المتكيف هنا مكرفونين منفصلين أحدهما هو مكرفون الهاتف المحمول، والذي يتوضع على المدخل الأولي للمرشح بمنزلة حساس أولي، ويسجل إشارة الصوت للشخص مع بعض الضجيج الخلفي المشوش لها، بينما يتوضع المكرفون الثاني بعيداً عن المدخل الأولي بمنزلة حساس مرجعي لتسجيل الضجيج الخلفي فقط، و يجب اختيار الموقع المناسب له بدقة في بيئة الضجيج لأنه سيقوم بتسجيل الضجيج فقط وبشكل مباشر من دون الإشارة المفيدة إلا أنه يمكن في بعض الحالات أن يسجل إشارة الكلام مع وجود الضجيج الخلفي، ولكن قوة إشارة الضجيج الخلفي ستكون أكبر مقارنة بإشارة الكلام، وأخيراً فإن الضجيج الخلفي الذي يسجل باستخدام كلا الحساسين سوف يرتبط مع الآخر، ثم يتم إرسال كلتا الإشارتين الملتقطتين إلى نظام إلغاء الضجيج (NCS: Noise Cancellation System) في الوقت نفسه، وهذا ما يجده المستخدم عندما يضغط على زر اتصال "Call" حيث يظهر تنبيه له على الشاشة على شكل رسالة (فيما إذا كان سينشط الإلغاء المتكيف للضجيج ANC أم لا) من أجل تحسين وتوضيح إشارة الكلام ونوعيتها، وبمجرد تفاعل المستخدم مع زر "نعم" سيتم تنشيط NCS وتفعيل التطبيق، وستبدأ عملية ترشيح الصوت في أثناء المحادثة عبر جهاز المحمول، وذلك بتمرير إشارة الكلام فقط، وإلغاء الضجيج الخلفي

وبخاصة في البيئات ذات الضجيج المزعج (مثل المركبات والقطارات وطرق الشوارع وفي الأماكن العامة...الخ)[11].

- كما يمكن عند استخدام المرشح المتكيف في الحالات التي تتعرض فيها الإشارة اللاسلكية للضجيج النبضي بشدة دمج طريقة الترشيح المتكيف مع الطرق التقليدية السابقة (مثل طريقة القص وغيرها) من أجل زيادة دقة الإشارة المستقبلية، والحصول على معدل نقل بيانات عال وبخاصة في التطبيقات التي تتطلب ذلك.



- [1] QUADRI,A. A Review of Noise Cancellation Techniques for Cognitive Radio , Grand Forks , USA.
- [2] ABDOLLAHY,A.,& GERA VANCHIZADEH,M.(2008). Speech Enhancement Using Combinational Adaptive Filtering. *International Symposium on Telecommunications*, pp.774-777.
- [3] AKINGBADE, K.F.,& ALIM I, I.J.(2014 August). Separation of Digital Audio Signals using Least-Mean-Square (LMS) Adaptive Algorithm. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 4, N<sup>o</sup>.4, pp. 557-560.
- [4] NICOLAE, D.,& ROMULUS, R.(2004). Noise Canceling in Audio Signal With Adaptive Filter. *ACTA ELECTROTEHNICA*, Vol. 45, N<sup>o</sup>.6, pp. 599-602.
- [5] MON, A., AUNG, T.T.,& LWIN, C.H.(2016 Nov). Active Noise Cancellation in Audio Signal Processing. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol. 3, N<sup>o</sup>.11, pp. 21-27.
- [6] JIANG, J.(2014 April). Development of Real-Time Adaptive Noise Canceller and Echo Canceller. *GSTF International Journal of Engineering Technology (JET)*, Vol. 2, N<sup>o</sup>.4, pp. 28-32.
- [7] RAMLI,M.R., ABID NOOR,O.A.,& ABDUL SAMAD,S.(2012). A Review of Adaptive Line Enhancers for Noise Cancellation. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* , Vol. 6, N<sup>o</sup>.6, pp.337-352.
- [8] SHARMA,A., TOSHNIWAL,S.,& SHARMA,R.(2014 June). Noise Reduction Technique for ECG Signals Using Adaptive Filters. *International Journal of Recent Research and Review* , Vol. VII, N<sup>o</sup>.2, pp.82-86.
- [9] CHANDRAKAR,CH.,& KOWAR,M.K.(2012 March). Denoising ECG Signals Using Adaptive Filter Algorithm. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, Vol. 2, N<sup>o</sup>.1, pp. 120-123.
- [10] SHEKH MD,M.I.,& MD,S.F.(2015 Nov). Denoising EEG Signal using Different Adaptive Filter Algorithms. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, Vol. 4, N<sup>o</sup>.11, pp. 49-55.
- [11] RAVIKANTH,N.,& SANKET,D.(2012). Design and Development of Noise Cancellation System for Android Mobile Phones. *SASTECH* , Vol.11, N<sup>o</sup>.1, pp. 33-40.

- [12] SHAMSAN,Z.A., ABDULRAZAK,L.F.,& ABDRAHMAN,T. (2008). Co-channel and Adjacent Channel Interference Evaluation for IMT Advanced Coexistence with Existing Fixed Systems. *IEEE International RF and Microwave Conference Proceedings Malaysia*, pp.65-69.
- [13] SBIT,S., DADI,M.B.,& CHIBANI,B. (2015). 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<sup>o</sup>.11, pp. 462-465.
- [14] REKHA,N.,&JABEEN,F.(2018 April). Novel Technique for Comprehensive Noise Identification and Cancellation in GSM Signal. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*,Vol. 8, N<sup>o</sup>.2, pp.1222-1229.
- [15] CHIDIEBERE,C.I.,& OMIJEH,B.O.(2018).Reduction of Co-Channel Interference In Cellular Network Using Sectorization Method. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, Vol.7, N<sup>o</sup>.10, pp. 204-218.
- [16] REKHA,N.,& JABEEN,F.(2015). Study on Approaches of Noise Cancellation in GSM Communication Channel. *Communications on Applied Electronics (CAE)*, Vol.3, N<sup>o</sup>. 5, pp.5-11.
- [17] AFROZ,F., HUQ,A., AHMED,F.,& SANDRASEGARAN,K. (2015 April). Performance Analysis Of Adaptive Noise Canceller Employing NLMS Algorithm. *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, Vol. 7, N<sup>o</sup>.2, pp.45-58.
- [18] VERMA, A.R.,& SINGH,Y.(2015) . Adaptive Tunable Notch Filter for ECG Signal Enhancement. *Procedia Computer Science*. 57, pp.332-337.
- [19] PILLAI,V.V., SAFNA,S.F., RATHEESH,S.,& SHOUKATH,Sh. (2014 July). 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)* , Vol.3, N<sup>o</sup>.5, pp. 38-45.
- [20] ZAHRADNIK,P.,& VLCEK,M.(2013 April). Notch Filtering Suitable for Real Time Removal of Power Line Interference. *RADIOENGINEERING*, Vol.22, N<sup>o</sup>.1, pp.186-193.
- [21] 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*, Vol.8, N<sup>o</sup>.11, pp.114-119.
- [22] GUPTA, SH., MANTHALKAR, R.,& GAJRE,S.(2013). Suppression of Impulse Noise using Adaptive Filters. *Computing in Cardiology*, pp.527-530.

- [23] KHALILI . A., RASTEGARNIA .A., VAHIDPOUR .V, & ISLAM.M.K.(2016). Adaptive Filtering-Based Algorithm for Impulsive Noise Cancellation from ECG Signal. *Journal of Electrical and Computer Engineering Innovations*, Vol.4, N<sup>o</sup>.2, pp.169-176.
- [24] BHAGYASHRI.S.B.,& DEOKAR .S.M.(2014 April).Adaptive Filter for Removal of Impulsive Noise and Its Comparison with LMS Algorithm. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, pp.12-14.
- [25] MIRZA.A., KABIR.S.M.,& SHEIKH.SH.A. (2015). Reduction of Impulsive Noise in OFDM System Using Adaptive Algorithm. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, Vol.9, N<sup>o</sup>.6, pp.1434-1438.
- [26] MIRZA .A., KABIR.S.M.,& SHEIKH.SH.A. (2016 June). Reduction of Impulsive Noise in OFDM Systems Using a Hybrid Method. *International Journal of Signal Processing Systems* , Vol.4, N<sup>o</sup>.3, pp.226-230.
- [27] KUMARI.A.K., TATAJI.P.R.,& SEKHARABABU.V.(2013). Combination of Adaptive Filter Algorithms for Noise Cancellation. *Engineering Sciences International Research Journal*, Vol.1, N<sup>o</sup>.1, pp.46-51.
- [28] THAKKAR, V.(2017 Sep.- Oct.). Noise Cancellation using Least Mean Square Algorithm. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, Vol. 12, N<sup>o</sup>.5, pp. 64-75.
- [29] DEWANGAN,N.,& POTDAR,M.R.(2014 July-August). Noise Cancellation Using Adaptive Filter for PCG Signal. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science(IJETTCS)*, Vol. 3, N<sup>o</sup>.4, pp. 38-43.
- [30] DRAGHICIU,N.,& REIZ,R.(2004). Noise Cancellation Using Adaptive Filter for PCG Signal. *ACTA ELECTROTEHNICA*, Vol. 45, N<sup>o</sup>.6, pp.599-602.
- [31] MARTINEK, R.,& ZIDEK, J.(2010). Use of adaptive filtering for noise reduction in communications systems , *IEEE Xplore*.
- [32] NGOC,TH.TH. (2007 Oct). Improving Performance Of Wireless Communication Systems Using Adaptive Space-Time Scheme. *International Symposium on Electrical & Electronics Engineering*, pp. 42-47.
- [33] TRUMP.T.(2011). Output signal based combination of two NLMS adaptive filters-transient analysis. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, Vol. 60, N<sup>o</sup>.4, pp.258-268.

- [34] 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*, Vol.211, pp.1-6.
- [35] ABUSALEM.KH.F. (2008 July). Variable Step LMS Algorithm Using the Accumulated Instantaneous Error Concept. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol. I.
- [36] MUSTAFA.R., MUAD.A.M., JELANI.SH., & ABDUL RAZAP.A.N. (2017). Multiple Iteration of Weight Updates for Least Mean Square Adaptive Filter in Active Noise Control Application. *MATEC Web of Conferences* 95.
- [37] KUNDU.D.,& NIJHAWAN.G. (2017). Performance Analysis of gradient decent adaptive filter for Noise Cancellation in Signal Processing. *Journal of Engineering Research and Application*, Vol. 7, N<sup>o</sup>.7, pp.64-69.
- [38] GRACIA.A.J., FIGUEIRAS.R.A.,& SAYED.H.A.(2006). Mean-Square Performance of a Convex Combination of Two Adaptive Filters. *IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING* , Vol. 54, N<sup>o</sup>.3, pp.1078-1090.
- [39] NASCIMENTO.H.V., LAMARE.C.R.(2012). A Low-Complexity Strategy For Speeding Up The Convergence Of Convex Combinations Of Adaptive Filters. *IEEE ICASSP*, pp.3553-3556.
- [40] DOUGLAS,S.C.( 1999). Introduction to Adaptive Filters. *Digital Signal Processing Handbook*.
- [41] DIXIT,SH.,& NAGARIA,D.(2017). LMS Adaptive Filters for Noise Cancellation: A Review. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 7, N<sup>o</sup>.5, pp.2520-2529
- [42] SESHADRI,R.,& PENCHALAIAN,N.(2011). Method for Reducing of Noise by Improving Signal-to-noise-ratio In Wireless LAN. *International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA)*, Vol. 3, N<sup>o</sup>.5, pp.115-120.
- [43] TRAVEDIU,A.M., MANOLIU,M.V.,& RACUCIU,C.(2020). Improve channel signal quality using adaptive filters. *Bulletin of Naval Academy*, Vol. XXIII, N<sup>o</sup>. 1, pp. 90-96.
- [44] PRASAD.S.R. ,& GODBOLE.B.B. (2017 June). Optimization of LMS Algorithm for System Identification. <https://www.researchgate.net/publication/317356282>.
- [45] 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, pp.133-148.
- [46] 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<sup>o</sup>.12, pp.360-372.
- [47] LAMPI, T. (2020). Implementation of adaptive filtering algorithms for noise cancellation. Faculty Of Engineering And Sustainable Development, Department of Electronics, Mathematics and Natural Sciences, University of GÄVLE.
  - [48] GHMATI.T.S.,& ELHOULA.A.S. (2021). Adaptive Digital FIR Filters: A Study; Case Study: Noise Cancellation using LMS Algorithm. *Albahit journal of applied sciences*, Vol. 2, N<sup>o</sup>.1, pp.30-36.
  - [49] ANAND.V., SHAH.SH.,& KUMAR.S.(2013 May). Intelligent Adaptive Filtering For Noise Cancellation. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol. 2, N<sup>o</sup>.5, pp.2029-2039.
  - [50] DAS,S.,& SARMA,K.K. (2012 May). Noise Cancellation in Stochastic Wireless Channels using Coding and Adaptive Filtering. *International Journal of Computer Applications*, Vol. 46, N<sup>o</sup>.14, pp. 21-25.
  - [51] CHHIKARA, J.,& SINGH, J.(2012 May-June). Noise cancellation using adaptive algorithms . *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* , Vol. 2, N<sup>o</sup>.3, pp.792-795.
  - [52] KRIER,J.R.,& AKYILDIZ,I.F.(2013). Active Self-Interference Cancellation of Passband Signals Using Gradient Descent. *IEEE 24th International Symposium on` Personal Indoor and Mobile Radio Communications(PIMRC)*, pp. 1212-1216 .
  - [53] DEO,P., SYAHKAL,D.M.,& MEHTA,A.(2020). Full-Duplex Radio With Two Receivers For Self-Interference Cancellation. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, Vol.14, N<sup>o</sup>.9, pp.897-902.
  - [54] HOSSAIN,M., FARHAD,S.M.,& RIASAT,T.(2012). Performance analysis of RLS and VSS-LMS channel estimation techniques for 4G MIMO OFDM systems. *IEEE 15th International Conference On Computer and Information Technology(ICCIT)*, pp.267-270 .
  - [55] QUADRI,A.,MANESH,M.R.,&KAABOUC,N.(2016). Denoising Signals in Cognitive Radio Systems Using An Evolutionary Algorithm Based Adaptive Filter. *IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference(UEMCON)*.
  - [56] OHANEME,C.O.,IDIGO,V.E.,NNEBE,S.U.,& IFEAGWU.E.N. (2012). 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<sup>o</sup>.5, pp.149-163.
- [57] عروديكي ، هشام . ٢٠١٣ ، نظم الاتصالات الخلوية "أسس ومبادئ". دمشق: د.ن، ٤٨٧
- [58] FENG,L.M., HE,W., LI,H.F.,& YANG, X.T.(2016). Adaptive noise cancellation system elimination of sinusoidal interference. *2nd Annual International Conference on Energy, Environmental & Sustainable Ecosystem Development (EESED 2016)*, Vol.115, pp.265-270.
- [59] ZHU.Z. , GAO.X. , CAO.L., PAN.D., CAI.Y.,& ZHU.Y.(2016). Analysis on the adaptive filter based on LMS algorithm. *International Journal for Light and Electron Optics*, Vol.127, pp. 4698-4704.
- [60] FRECH,A.,&RUSSER,P.(2012).Real-time Ambient Noise Cancellation for EMI Measurements on Open Area Test Sites. *IEEE*, pp.213-216.
- [61] LAMARE,R.C.,& ARAUJO,R.E.(2012). ADAPTIVE FILTERING ALGORITHMS FOR NOISE CANCELLATION. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [62] RAGHU,K.(2020). Design and Implementation of Single/Multiple Frequency Notch Filter using Adaptive Noise Canceller for Communication Applications. *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, Vol.13, N<sup>o</sup>.3, pp. 1118-1127.
- [63] EL GEBALI,A.,& LANDRY,R.J. (2020). Mitigation of Continuous Wave Narrow-Band Interference in QPSK Demodulation Using Adaptive IIR Notch Filter. *American Journal of Signal Processing*, Vol.10, N<sup>o</sup>.1, pp. 10-18.
- [64] MANE,V.,& AGASHE, A.(2011). An Adaptive Notch Filter For Noise Reduction and Signal Decomposition. *International Journal of Computer Science Issues(IJCSI)* , Vol.8, N<sup>o</sup>.1, pp.360-365.
- [65] 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)* , Vol.30, N<sup>o</sup>.31, pp.91-94.
- [66] 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*, Vol.26, N<sup>o</sup>.18, pp.24066-24074.

- [67] 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.
- [68] 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*, Vol.17, N<sup>o</sup>.1, pp. 48-52.
- [69] 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, pp.1-14.
- [70] 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.
- [71] OKORAFOR,C.I.,OMEJE,A.,CHUKWUNEKE,N.S.,&OKOROG U,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<sup>o</sup>.8, pp.21-29.
- [72] RÆKKEN,R.H., L Ø V N E S,G. (2014 July). Multipath propagation and its influence on digital mobile Communication systems.<https://www.researchgate.net/publication/238736954>, pp.109-126.
- [73] MCCLANING,K. (2012). Wireless Receiver Design for Digital Communications. Second Edition, *SCITTECH Publishing, United States of America*, 758.
- [74] 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, pp.777-781.
- [75] DAI,J., HAN,Z.,& ZHANG,F.( 2012). Research on the Interference Cancellation Based on Adaptive Algorithms. *International Journal of Intelligent Engineering & Systems*, Vol.5, N<sup>o</sup>.4, pp. 18-25.
- [76] KABIR .S.M., MIRZA .A.,& SHEIKH .SH.A.(2015). Performance Comparison of Clipping Technique with Adaptive Filters for Impulsive Noise Reduction in AWGN Environment . *The Eleventh Advanced International Conference on Telecommunications*, pp.14-17.
- [77] KARAKU S.O.,KURUO GLU.E.E.,&ALTINKAYA.M.A. (2020).Modelling impulsive noise in indoor power line

- communication systems. *Signal, Image and Video Processing* , pp.1655-1661.
- [78] KAMAKSHISUHASINI.V.,KUPPAM.N.,&MALLIKARJUNA .R.(2014). Design and Implementation of Adaptive Filtering Algorithm for Noise Cancellation in Speech Signal on FPGA. *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, Vol.3, N<sup>o</sup>.41, pp.8390-8396.
  - [79] CHIEN.R.Y., YOU.L.J.(2018). Convex Combined Adaptive Filtering Algorithm for Acoustic Echo Cancellation in Hostile Environments. *IEEE Open Access Journal*, Vol.6, pp.16138-16148.
  - [80] CHAMON.O.L.,& LOPES.G.C.(2017). Combination of LMS Adaptive Filters with Coefficients Feedback. *arXiv Mathematics, Optimization and Control, Cornell University*, Vol. 2, pp.1-13.
  - [81] YANG.Q., LEE.K.,& KIM.B. (2019). Development Of Multi-Staged Adaptive Filtering Algorithm For Periodic Structure – Based Active Vibration Control System. *Applied Sciences Journal*,16p.
  - [82] DIXIT.SH.,& NAGARIA.D.(2017). Design and Analysis of Cascaded LMS Adaptive Filters for Noise Cancellation. *Circuits Syst Signal Process* ,Vol. 36, N<sup>o</sup>.2, pp.742-766.
  - [83] MBACHU.C.B.,& AKANEME.S.A.(2020). LMS-Based Adaptive Filtering Technique For Removing Noise From voice Signals and Its Comparison With RLS-Based Type. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering Studies*,Vol. 6, N<sup>o</sup>.1, pp.27-42.



## ملحق

### الأبحاث المنشورة

[1] فرح جنيكه, د.م. ياسر عملة, د.م. هيثم الرضوان, تحسين أداء خوارزمية LMS المستخدمة في المرشحات المتكيفة، مجلة جامعة البعث، المجلد 41، عام 2019.

Al Baath University  
Journal of Al Baath University



جامعة البعث  
مجلة جامعة البعث

قبول نشر بحث  
طالب دراسات عليا

الرقم: ١٢٩٥

التاريخ ٢٠١٩ / ٢ / ٢٦

الدكتور المشرف: ياسر عملة + د. هيثم الرضوان

طالب الدراسات العليا: فرح جنيكه

كلية: الهمك - جامعة البعث

نود إعلامكم بقبول بحثكم الموسوم:

تحسين أداء خوارزمية LMS المستخدمة في المرشحات المتكيفة

لنشر في مجلة جامعة البعث بالمجلد 41 لعام 2019

بعد أن تم تحكيمه من قبل مختصين.

نشكر لكم هذه المساهمة الطيبة ونتطلع إلى استمرار تواصلكم مع مجلتنا ومدها بما لديكم من جديد والاطلاع على الأبحاث المنشورة في المجلة على موقع المجلة والرابط المدونين في أسفل الصفحة.

موقع الجامعة [www.albaath-univ.edu.sy](http://www.albaath-univ.edu.sy) والرابط [magazine@albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

رئيس تحرير  
مجلة جامعة البعث



Journal of AL Baath University – Syria – Homs

Est. 1983

P.O. Box: 77 – Fax: ++963 31 2138071

Tel: ++963 31 9910 (1180 1132)

[magazine@albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

مجلة جامعة البعث – سورية – حمص

تأسست عام 1983

ص.ب. 77 فاكس: ++963 31 2138071

هاتف: ++963 31 9910 (1180 1132)

[www.albaath-univ.edu.sy](http://www.albaath-univ.edu.sy)

## ملحق

### الأبحاث المنشورة

[2] فرح جنيكه , د.م. ياسر عملة , د.م. هيثم الرضوان , معالجة الإشارة اللاسلكية في الأنظمة الخلوية باستخدام المرشح المتكيف، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية سلسلة العلوم الهندسية ISSN:2079-3081 في المجلد (41) العدد (5) لعام 2019.

Syrian Arab Republic  
Tishreen University  
Tishreen University Journal  
for Research and Scientific Studies  
Refereed Scientific Journal  
Established 1978  
Lattakia – SYRIA



الجمهورية العربية السورية  
جامعة تشرين  
مجلة جامعة تشرين  
للبحوث والدراسات العلمية  
مجلة علمية محكمة - تأسست عام 1978  
اللاذقية - سورية

الرقم: ١٧٤٧ / ص م ج  
التاريخ: ١٠ / ١٥ / 2019 م.

السيد الدكتور ياسر عملة - أستاذ - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث - حمص.  
السيد الدكتور هيثم الرضوان - أستاذ مساعد - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين.  
السيدة فرح جنيكه - طالبة دكتوراه - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث - حمص.  
يسرنا إعلامكم أنه تمت الموافقة على نشر بحثكم المحكم المقدم للنشر في مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية وهو بعنوان:

#### معالجة الإشارة اللاسلكية في الأنظمة الخلوية باستخدام المرشح المتكيف

في سلسلة العلوم الهندسية (Print ISSN: 2079-3081 , Online ISSN:2663-4279)  
في المجلد ( 41 ) العدد (5) لعام 2019 من مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية.  
شكراً لاختياركم مجلتنا لنشر بحثكم، وتفضلوا بقبول وافر التقدير

م.م. محمد ج. ج. ج.  
للبحوث والدراسات العلمية  
جامعة تشرين  
م.م. محمد ج. ج. ج.  
م.م. محمد ج. ج. ج.

أمين تحرير مجلة جامعة تشرين  
للبحوث والدراسات العلمية  
د. أمير درويش تفيحة

## ملحق

### الأبحاث المنشورة

[3] فرح جنيكه , د.م. ياسر عملة , د.م. هيثم الرضوان , استخدام المرشح المتكثف كمرشح شقوق لإلغاء تداخل القناة المجاورة في الأنظمة الخلوية، المجلد العربي للعلوم ونشر الأبحاث، مجلة العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات، المجلد (الرابع) العدد (الثاني)، DOI:10.26389/AJSRP.E291219 ، عام 2020.



**المجلة العربية للعلوم ونشر الأبحاث**  
Arab Journal of Sciences & Research Publishing  
Refereed Scholarly Journal - مجلة أكاديمية علمية محكمة  
ISBN: 2015 - 499 ISSN: 2518 - 5780

---

Date: 08 / 02 / 2020 التاريخ: 14 / جمادى الثانية / 1441 هـ

سعادة الباحثة / فرح توفيق جنيكه "حفظها الله"  
سعادة الأستاذ الدكتور / ياسر عملة "حفظه الله"  
قسم الهندسة الإلكترونية والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية  
جامعة البعث - حمص - سوريا  
سعادة الدكتور / هيثم الرضوان "حفظه الله"  
قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية  
جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا  
السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

#### الموضوع / قبول نشر بحث علمي محكم

تهديكم هيئة تحرير "المجلة العربية للعلوم ونشر الأبحاث" أطيب التحيات،  
وتود إبلاغكم بقبول نشر البحث المقدم بعنوان:

استخدام المرشح المتكثف كمرشح شقوق لإلغاء تداخل القناة المجاورة  
في الأنظمة الخلوية

حيث تم التحكيم حسب الأصول وأجيز البحث للنشر في العدد الثاني - المجلد الرابع من مجلة  
العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات والذي سيصدر في 30 يونيو 2020 م إن شاء الله تعالى.

وسيحمل البحث معرف الوثيقة الرقمي: DOI: 10.26389/AJSRP.E291219

وتفضلوا بقبول فائق التقدير والاحترام

رئيس التحرير  
أ. د. م. عبد الرحمن الطريف كرار



مدير التحرير  
د. عادل إبراهيم أحمد

National Research Centre - Gaza - Palestine  
Tel: 00970 - 569831045  
Fax: 00970-08-282-4157  
DOI: dx.doi.org/10.26389/AJSRP.2015-499

المركز القومي للبحوث - غزة - فلسطين  
ص ب: 5340 - غزة - فلسطين  
الموقع الإلكتروني: www.AJSRP.com  
البريد الإلكتروني: info@ajsrp.com

## ملحق

### الأبحاث المنشورة

[4] فرح جنيكه , د.م. ياسر عملة , د.م. هيثم الرضوان , تخفيض التداخل متعدد المسارات في الأنظمة الخلوية باستخدام المرشح المتكيف، مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية سلسلة العلوم الهندسية في المجلد (الرابع) العدد (العاشر) لعام 2020.

Syrian Arab Republic  
Tartous University  
Tartous University Journal  
For Research and Scientific Studies  
Established 2016  
Tartous – SYRIA  
Number/ Date:  
Our Reference:



الجمهورية العربية السورية  
جامعة طرطوس  
مجلة جامعة طرطوس  
للبحوث والدراسات العلمية  
تأسست عام 2016  
طرطوس-سورية  
الرقم / التاريخ : ٨٠٤٤٣  
٣٠ - ١١ - ٢٠٢٠  
الموضوع :

السيد الدكتور ياسر عملة المرتبة العلمية أستاذ من كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية  
قسم الهندسة الالكترونية والاتصالات بجامعة البعث.

السيد الدكتور هيثم الرضوان المرتبة العلمية أستاذ مساعد من كلية الهندسة الميكانيكية  
والكهربائية قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات بجامعة تشرين.

السيدة فرح جنيكه طالبة الدراسات العليا (الدكتوراه) في قسم الهندسة الالكترونية والاتصالات  
من كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة البعث.

يسرنا إعلامكم أنه تمت الموافقة على نشر بحثكم المحكم المقدم للنشر في مجلة جامعة  
طرطوس للبحوث والدراسات العلمية، وهو بعنوان:

تخفيض التداخل متعدد المسارات في الأنظمة الخلوية باستخدام المرشح المتكيف

في سلسلة العلوم الهندسية المجلد (الرابع) العدد (العاشر) لعام 2020 من مجلة جامعة طرطوس للبحوث  
والدراسات العلمية.

شكراً لاختياركم مجلتنا لنشر بحثكم، وتفضلوا بقبول وافر التقدير



الأستاذ الدكتور هشام محمد الدالي

أمين التحرير

منار محمد عقول

**Syrian Arab Republic  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
AL-Baath University  
Faculty Of Mechanical & Electrical Engineering  
Department Of Electronic & Communication Eng**



# **Improve The Performance of The Communication System and Reduce Noise Associated with Signal Transmission Using Adaptive Filters**

**Dissertation Submitted for PhD Degree in The Department Of  
Electronic and Communication Engineering**

**Introduced By  
Eng. Farah Tawfek Jnaikeh**

**Scientific Supervisor  
Prof . Dr. Yaser Emleh**

**Associate Supervisor  
Prof . Dr. Haitham Alradwan**

**2020-2021**

**1442-1443**