

أثر القفز الترددي في مميزات عمل الهوائيات المتلائمة

الدكتور علي احمد*

الدكتور تاج الدين جركس**

عبد المنعم غانم***

(تاريخ الإيداع 20 / 5 / 2007. قُبِلَ للنشر في 15/11/2007)

□ الملخص □

بهدف رفع مؤشر الحماية من التشويش لمنظومات الاتصال نستخدم القفز الترددي مع الطيف المنشور. عند استخدام القفز الترددي مع طرق أخرى كاستخدام الهوائيات المتلائمة تتأثر مواصفات الهوائي وبصورة خاصة " مخطط الإشعاع " مما يؤدي إلى صعوبة في تمييز الإشارة من التشويش ولاسيما عند أطراف مجال العصبية الترددية.

بحثنا هذا يؤكد أن القفزة الترددية تؤدي إلى انزياح مخطط الإشعاع على نحو يخرج عن الزاوية المعدة لاستقبال الإشارة إلى الزاوية التي تكون فيها نسبة الإشارة إلى التشويش أقل بكثير بحيث يعود تلقائياً إلى نطاق صفر مخطط الإشعاع.

كلمات مفتاحية:

القفز الترددي، الهوائيات المتلائمة، التعديل الترددي والطوري.

* أستاذ مساعد في قسم الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية & الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

** أستاذ في قسم الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية & الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

*** طالب ماجستير في قسم الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية & الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Effect of Frequency-Hopping on Characteristics of Operation Adaptive Antennas

Dr. Ali Ahmad *
Dr. Taj Alden Jarkas **
Abed Almnem Ganem ***

(Received 20/ 5 / 2007. Accepted 15/11/2007)

□ ABSTRACT □

This purpose of this research is to Increase protection pointer of communication system jamming by using Frequency-Hopped and Encyclical specter.

Using Frequency-Hopping and adaptive antennas with each other will effect frequency- Hopping Antenna Characteristics, specially the (Radiation Pattern). This means it is difficult to distinguish between signal and jamming, especially at the limits of frequency band domain.

Our search confirms that the Frequency-Hopping leads to dislodgment of radiation pattern far away from the prepared angle to receive the signal to an angle where signal to jamming ratio would be much less.

Key Words: The Frequency Hopping, Adaptive Antennas, Frequency and Amplitude modulation.

* Associate Professor, Department of Communication, Faculty of Mechanical &Electrial Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Professor, Department of Communication, Faculty of Mechanical &Electrial Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Postgraduate Student, Department of Communication, Faculty of Mechanical &Electrial Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن رفع مؤشرات الحماية من التشويش لمنظومات الاتصال الراديوي وبحث طرق رفع هذه المؤشرات لقي اهتماما كبيرا في الآونة الأخيرة، ومن هذه الطرق الرئيسية للوصول إلى حماية عالية من التشويش لمنظومات الاتصال الراديوي وخاصة عند تأثير التشويش المقصود هو استخدام إشارات بترددات عشوائية مع استخدام خوارزميات محددة لمعالجة هذه الإشارات عند الاستقبال.

التوليف شبه العشوائي للتردد العامل (C.R.T.O.F) The Co-Random Tuning of the Operating Frequency هو أحد الطرق الفعالة لتوسيع طيف الإشارة بحيث تشغل عرض حزمة كبير بالنسبة لعرض العصبية اللازمة لإرسال هذه الإشارة. وخاصة بعد توفر الشروط المناسبة لذلك ومنها:

- إمكانية استخدام منظومات اتصال تعتمد على المعالجة السريعة.
 - توفر قاعدة بيانات إلكترونية تسمح باستخدام مبادئ جديدة في معالجة الإشارة بالنسبة للهوائيات المتلائمة (خوارزمية MaxMin).
 - استخدام الترميز المضاد للتشويش.
 - استخدام الهوائيات المتلائمة بحيث يتأمن حماية عالية من التشويش المقصود (المنظم).
- إن استخدام *C.R.T.O.F* يصعب عمل منظومات التشويش ويجبر هذه المنظومات على توزيع استطاعة التشويش لمرسلاتها على كامل المجال الترددي المستخدم والتركيز على قطاعات محددة من المجال الترددي وترك بقية القطاعات حرة من التشويش، ومن ثمة أصبحت استراتيجية التخلص من التشويش هي بالهروب منه بدلاً من التأثير فيه بالوسائط الأخرى وذلك بتعديل الإشارة المرسله بتردد عشوائي.
- وإحدى المميزات الأساسية لمنظومات الاتصال التي تستخدم *C.R.T.O.F* هو الزمن الفعلي في البقاء على تردد واحد (زمن الانتقال من تردد إلى تردد) ويقدر ما يكون هذا الزمن قصيراً يكون الهروب من التشويش متاحاً على نحو أفضل بشكل أفضل.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في تحقيق وثوقية العمل، واتخاذ قرار في الاجهزة ذات القفز الترددي التي تستخدم هوائيات متلائمة وخاصة عند سرعات القفز الكبيرة. وأهداف البحث هي دراسة أثر القفز الترددي في الخصائص المميزة للهوائيات المتلائمة بغية اقتراح أو بحث الحلول الممكنة لتلافي هذه المشكلة.

طريقة البحث:

تم اعتماد التحليل الرياضي (التحليل المنطومي، ونظرية الاحتمالات، والأعداد العقدية، والمصفوفات)، وتمت النمذجة على الحاسب باستخدام Visual Basic & Matlab في مخبر الهوائيات في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين في الأشهر الأولى من عام 2007.

تأثير الإشارات ذات *C.R.T.O.F* في المنحنيات البيانية المميزة للهوائيات الشبكية المتلائمة:

إحدى الطرق الفعالة لرفع مستوى مؤشرات الحماية من التشويش لمنظومات الاتصال الراديوي هو الاستخدام المركب (بأن واحد) للهوائيات الشبكية المتلائمة مع الإشارات ذات $C.R.T.O.F$. حسب طريقة معالجة الإشارة والعمليات المرافقة لها نجد أن الاستخدام المركب للإشارات ذات $C.R.T.O.F$ مع الهوائيات المتلائمة يمكن أن يتحقق بعدة طرق منها:

الطريقة الأولى: التنفيذ التسلسلي للعمليات (المعالجة الفراغية للإشارات The Spatial Signal Processing – إزالة الفترات الترددية $Remove the Frequency-Hopped R.F.H$).

الطريقة الثانية: التنفيذ التسلسلي للعمليات (إزالة القفزة الترددية – المعالجة الفراغية للإشارات).

الطريقة الثالثة: التنفيذ التفرعي للعمليات (المعالجة الفراغية للإشارات – إزالة القفزة الترددية).

التنفيذ التسلسلي للعمليات (المعالجة الفراغية للإشارات – إزالة القفزة الترددية):

إن المعالجة الفراغية للإشارات يجب أن تتم في نطاق ترددي عريض (عرض عصابة عريض) يتطابق مع عرض عصابة الإشارات ذات الطيف المنشور بطريقة التوليف شبه العشوائي للتردد العامل. ولذلك عند استخدام الطريقة الأولى من الضروري تأمين خوارزميات ذات تأثير سريع عند المعالجة الفراغية للإشارات. وفي عرض عصابة الترددات المنشور لمنظومات الاتصال الراديوي ذات $C.R.T.O.F$ كقاعدة عامة يوجد إشارات معيقة لهذه العملية (تشويش) [1].

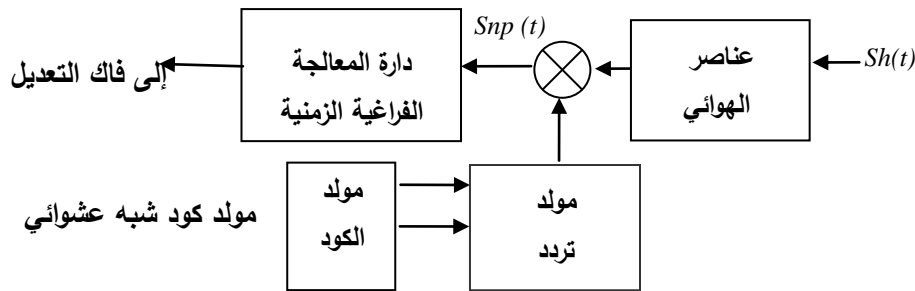
ومن ثمة لرفع مستوى مؤشر الحماية من التشويش لمنظومات الاتصال الراديوي $Radio Communication Systems R.C.S$ لابد من تشكيل أصفار مخطط الإشعاع $Radiation Pattern H.P$ (المخطط البياني لاتجاهية الهوائيات المتلائمة $Array Antenna A.A$) على جميع المنابع القريبة والتي تعمل على ترددات ثابتة. وبناء عليه فإن سلبية هذه الطريقة تكمن في ضرورة تشكيل عدد كبير من أصفار مخطط الإشعاع في النطاق الفراغي – الترددي الذي يتحدد بعرض عصابة الترددات والحمل الناتج عن عدد مصادر الإشعاع المعيق (التشويش).

إزالة الفترات الترددية $The Frequency Hopped Removal$:

يتيح تأمين معالجة فراغية للإشارات ذات عرض عصابة ضيق [2]، وفعالية أكبر لاستخدام الهوائيات المتلائمة. يبين الشكل (1) المخطط الصندوقي لمحطة استقبال منظومة اتصال راديوي $R.C.S$ & الهوائيات المتلائمة $A.A$ المنفذة بالطريقة الثانية من المعالجة الفراغية للإشارات حيث:

$s_h(t)$: الإشارة مع التوليف لشبه العشوائي للتردد العامل على خرج عناصر الهوائي $Antenna Elements A.E$.

S_{np} : الإشارة على مضخم التردد المرحلي $The Frequency Staging Amplifier F.S.A$.



الشكل (1) يبين المخطط الصندوقي لمنظومة الاتصال الراديوي مع التوليف شبه العشوائي للتردد.

إن مولد التردد والمزاج يقومان بتحويل الإشارات المتغيرة ترددياً إلى إشارات ذات تردد مرحلي $s_{np}(t)$. أثناء ذلك عند كل قفزة ترددية يتم خلالها ملائمة شبكة الهوائي (AA)، يكون عدد الإشارات المعيقة أقل بكثير مما هو عليه في كامل مجال طيف الترددات المنشورة W_s ، مما يتيح استخدام عدد أقل من عناصر الهوائي (AE) في منظومة الاتصال الراديوي.

إلا أنه عند استخدام الطريقة الأولى من الضروري أن تتم المعالجة الفراغية للإشارات بأقل زمن ممكن أثناء العمليات الانتقالية. ومن إيجابية هذه الطريقة أن عرض طيف الإشارات بعد إزالة القفزات الترددية يصبح أضيق بكثير من طيف الإشارة الموسع مع التوليف شبه العشوائي للتردد العامل. وهذا يؤدي إلى تأمين كبت قسم محدد من التشويش والضجيج قبل وصولهما إلى المرشحات المتلائمة. وبذلك يصبح تنفيذ المرشحات أسهل وهذا يؤمن ثوابت تكبير جيدة.

تصميم الهوائيات الشبكية المتلائمة :Design of Adaptive Array Antennas

يعد الاستخدام التفريعي للمعالجة الفراغية للإشارات وإزالة القفزات الترددية من أكثر الطرق التي يمكن أن تحقق نتائج جيدة ولكنها معقدة في الوقت نفسه. وعند ذلك توجد عدة خيارات لبناء الهوائيات المتلائمة؛ فمثلاً يمكن إزالة القفزات الترددية للإشارات مع التوليف شبه العشوائي للتردد العامل إما في مسارات كل عنصر من عناصر الهوائي أو على خرج مجمع شبكة الهوائي.

بما أن طيف إشارة المعلومات عند التوليف شبه العشوائي للتردد العامل يشغل جزءاً ضئيلاً جداً من كامل مجال الترددات المنشورة، فإن تشكيل مخطط الإشعاع يمكن أن يتم بطريقة التوزيع المركب التقليدية [3,1]. إلا أن الاستخدام المباشر للخوارزميات التقليدية في المعالجة الفراغية وبالاشتراك مع الإشارات ذات القفز الترددي لا يمكننا من الحصول على الربح الإجمالي، ولا على رفع مستوى الحماية من التشويش لمنظومة الاتصال الراديوي على حساب استخدام الإشارات مع التوليف شبه العشوائي للتردد العامل والهوائيات المتلائمة، وذلك بسبب تأثير القفزات الترددية في المميزات البيانية العاملة للهوائيات المتلائمة.

ويؤدي وجود مثل هذا التعديل إلى التغير في الزمن وانخفاض نسبة الإشارة إلى الضجيج $Signal to Noise Ratio S.N.R$ ونسبة الإشارة إلى التشويش $Signal to Jamming Ratio S.J.R$ على خرج الهوائيات المتلائمة، وهذا بدوره يؤدي إلى ارتفاع نسبة الخطأ في استقبال الإشارة.

إن القفزة الترددية للإشارة المستقبلية تتناسب مع تغير زاوية ورودها وهذا يؤدي إلى ظهور تغير في إشارة خرج الهوائي المتلائم. وعملياً عند تغير زاوية ورود الإشارة θ بمقدار $\Delta\theta$ عند تردد حامل ثابت ω فإن انزياح الطور على حساب المسافة بين العناصر بالنسبة إلى الهوائي المتلائم ثنائي العناصر يتغير بمقدار $\Delta\Phi_\theta$ راديان.

$$\Delta\Phi_\theta = \frac{\omega}{C_p} D \sin(\theta + \Delta\theta) - \frac{\omega}{C_p} D \sin \theta \quad (1)$$

حيث أن:

C_p : سرعة انتشار الأمواج الراديوية.

D – المسافة بين عناصر الهوائي.

عند تغير التردد الحامل للإشارة المستقبلية بقيمة ΔW فإن الانزياح الطوري الناجم عن المسافة بين عناصر

الهوائي بالنسبة للهوائيات المتلائمة يتغير بمقدار $\Delta\Phi_w$:

$$\Delta\Phi_\omega = \frac{\Delta\omega}{C_p} D \sin \theta \quad (2)$$

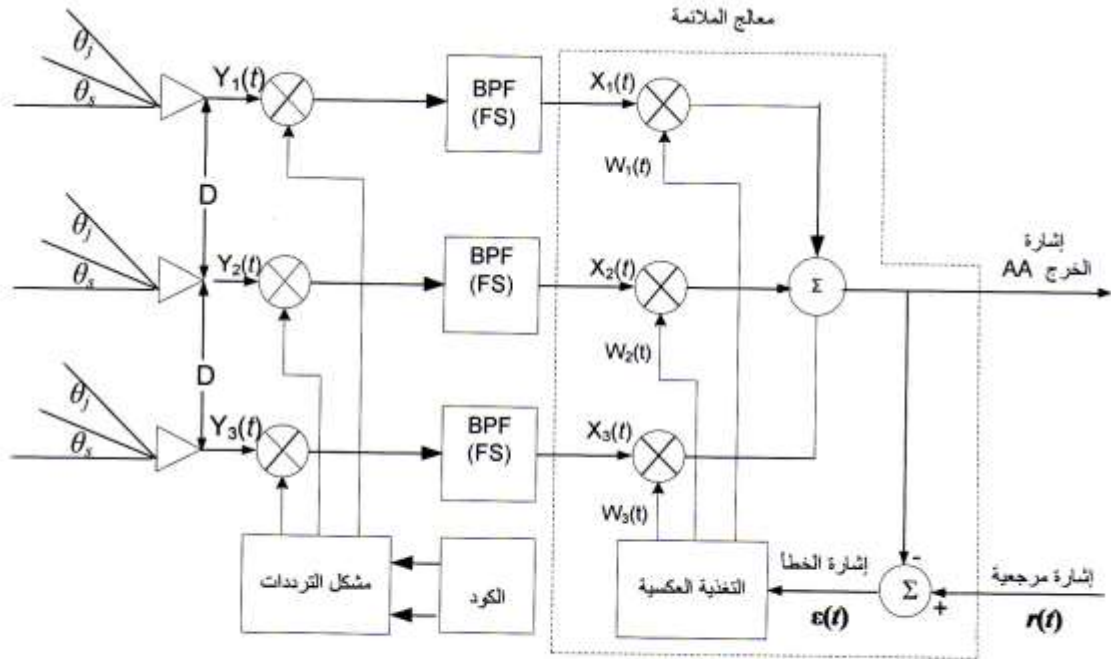
نجد أن قفزة التردد الحامل للإشارة المستقبلية بالهوائيات المتلائمة عند زاوية ورودها نفسها θ تؤدي إلى نتيجة مشابهة لما يتم الحصول عليه نتيجة لتغير زاوية ورود الإشارة نفسها. وبموازنة قيم الانزياحات الطورية $\Delta\Phi_\omega$ و $\Delta\Phi_\theta$ نحصل على شرط التكافؤ الناجم عن قفز التردد الحامل وعن تغير زاوية ورود الإشارة.

$$\sin(\theta + \Delta\theta) = \left(\frac{\Delta\omega}{\omega} + 1 \right) \sin \theta \quad (3)$$

وبالنسبة لقيم $\Delta\theta$ ، وباستخدام المركبة الأولى لسلسلة تايلور في مفكوك التابع $\sin(\theta + \Delta\theta)$ نجد أن:

$$\Delta\theta \approx \frac{\Delta\omega}{\omega} \text{tg } \theta, \quad |\Delta\theta| \ll 1 \quad (4)$$

من أجل تحليل تأثير الإشارات ذات $C.R.T.O.F$ في المخطط الإشعاعي للهوائيات المتلائمة، وبلاستفادة من نتائج بعض الأعمال السابقة [3,4]، والتي تم فيها بحث الهوائي المتلائم ثلاثي العناصر وفق معيار الخطأ المتوسط التربيعي الأصغري $Minimum Mean Square Error M.M.S.E$ في الشكل (2) يتم تمثيل المخطط الصندوقي للهوائي المتلائم:



الشكل (٢) المخطط الصندوقي لشبكة الهوائيات المتلائمة لـ ٣ عناصر.

حيث أن:

θ_j, θ_s : وهي زوايا ورود الإشارة والتشويش.

D : المسافة بين عناصر الهوائي المساوية لنصف طول الموجة.

$Y_i(t)$: الإشارة على خرج عناصر الهوائي .

BPF: مرشح تمرير حزمة.

$X_i(t)$: إشارة الدخل الواردة إلى القنال i لمعالج ملائمة ثابتة الملائمة.

$W_i(t)$: أوزان القنال i لمعالج الملائمة.

$r(t)$: الإشارة المرجعية.

$\varepsilon(t)$: إشارة الخطأ.

حيث الأوزان في المعالج الذي يستخدم $MMSE$ تتشكل بواسطة دارات ترابطية ذات تغذية عكسية، والتي تخفض الاستطاعة المتوسطة لإشارة الخطأ $\varepsilon(t)$ إلى الحد الأدنى، $\varepsilon(t)$: عبارة عن الفرق بين الإشارة المرجعية $r(t)$ وإشارة خرج الهوائي المتلائم). إن الإشارة المرجعية تحدد الإشارة التي تصل إلى خرج الهوائي. عند ذلك تصل الإشارات المترابطة بالإشارة المرجعية إلى خرج الهوائي المتلائم في حين لا تصل الإشارات غير المترابطة بالإشارة المرجعية إلى الخرج.

لنفرض أن الهوائي المتلائم يستقبل إشارة مفيدة $Y_s(t)$ ، وتشويشاً $Y_j(t)$ وإضافة إلى ذلك تؤثر في خرج عناصر الهوائي إشارات ضجيج خاصة $Y_I(t)$. عندها الإشارة الناتجة على خرج عناصر الهوائي هي:

$$Y(t) = Y_s(t) + Y_j(t) + Y_I(t) \quad (5)$$

يمكن كتابة الإشارة الإجمالية على خرج معالج الملائمة على النحو التالي:

$$X(t) = X_s(t) + X_j(t) + X_I(t) \quad (6)$$

يمكن تمثيل الإشارة المفيدة $Y_s(t)$ خلال فاصل زمني لعنصر أحادي التردد (قفزة ترددية) $T_{n-1} \leq t \leq T_n$ حيث أن n : عدد صحيح يشير إلى رقم القفزة الترددية $I \leq n \leq p$.

ويتم تمثيل الإشارة المرجعية كنبضة راديوية غير معدلة بتردد ثابت ω_h ويعرض نبضة T_h ، $(T_n = nT_h)$. ولإزالة القفزات الترددية من الإشارة المفيدة $Y_s(t)$ يستخدم مولد الترددات الذي يتم توليفه بالتزامن مع تردد الإشارة المستقبلية. ويكون جهد خرج مولد الترددات كمايلي:

$$U_{cr}(t) = U_{cr} \exp[j(\omega_{cr} + \Delta\omega_h)t], \quad (n-1)T_h \leq t \leq nT_h \quad (7)$$

حيث:

U_{cr}, ω_{cr} : مطال إشارة مولد الترددات وترددها الوسطي.

$\Delta\omega_h$: الفرق بين التردد الحالي ω_h والتردد الوسطي ω_c للإشارة مع $C.R.T.O.F$.

$$\Delta\omega_h = \omega_h - \omega_c \quad (8)$$

لمتابعة التحليل نفرض أن: $\omega_{cr} < \omega_c$ ؛

التردد الوسطي لمرشح تمرير الحزمة يساوي $\omega_c - \omega_{cr}$ ؛ عرض عصبية التمرير F_s للمرشحات الثلاثة متساوية وتساوي قيمة أقل من الفرق بين قفزتين تردديتين $(\omega_h - \omega_{h-1})$.

وفقاً للفرضيات المقترحة والتميزات المدرجة أعلاه يمكن كتابة شعاع الإشارة $Y_s(t)$ والتشويش $Y_j(t)$ على

النحو التالي:

$$Y_s(t) = A_s \begin{cases} \exp \{ j[(\omega_c + \Delta\omega_h)t + \psi_s] \}; \\ \exp \{ j[(\omega_c + \Delta\omega_h)(t - T_{3s})] + \psi_s \}; \\ \exp \{ j[(\omega_c + \Delta\omega_h)(t - 2T_{3s})] + \psi_s \}; \end{cases}, (n-1)T_h \leq t \leq nT_h; \quad (9)$$

$$Y_j(t) = A_j \begin{cases} \exp \{ j[\omega_j t + \psi_j] \}; \\ \exp \{ j[\omega_j(t - T_{3j}) + \psi_j] \}; \\ \exp \{ j[\omega_j(t - 2T_{3j}) + \psi_j] \}; \end{cases}, (n-1)T_h \leq t \leq nT_h; \quad (10)$$

حيث:

هي على التوالي زمن تأخر الإشارة، الأطوار البدائية، المطالات. والتشويش بين

$$\psi_s \in [0, 2\pi]; \psi_j \in [0, 2\pi]; T_{3s} = \frac{\pi}{\omega_c} \sin \theta_s; T_{3j} = \frac{\pi}{\omega_j} \sin \theta_j$$

بنتيجة إزالة القفزات الترددية يكون شعاع الإشارة المفيدة على دخل معالج المتلائمة كما يلي:

$$X_s(t) = A_s \exp \{ j[(\omega_s - \omega_{cr})t + \psi_s] \} \cdot U_s(n), \quad (n-1)T_h \leq t \leq nT_h, \quad (11)$$

حيث المعادلة:

$$U_s(n) = \{1; \exp[-j\Phi_s(n)]; \exp[-j2\Phi_s(n)]\}^T \quad (12)$$

T: مقلوب المصفوفة، $U_s(n)$: هو الشعاع الفعلي للعمود.

$\Phi_s(n)$: انزياح طور الإشارة بين عناصر الهوائي بالنسبة للقفزة الترددية n.

$$\Phi_s(n) = (\omega_c + \Delta\omega_h)T_{3s} \quad (13)$$

بعد الإزاحة والفترة بالتردد يكون شعاع التشويش $X_j(t)$ على دخل معالج المتلائمة في مرشح تمرير الحزمة على

النحو التالي:

$$X_j(t) = A_j(n) \exp \{ j[(\omega_j - \omega_{cr} - \Delta\omega_h)t + \psi_j] \} \cdot U_j, \quad (n-1)T_h \leq t \leq nT_h \quad (14)$$

حيث:

$$A_j(n) = \begin{cases} A_j, & \omega_j - \omega_{cr} - \Delta\omega_h \leq \frac{F_s}{2}; \\ 0, & \omega_j - \omega_{cr} - \Delta\omega_h > \frac{F_s}{2}; \end{cases} \quad (15)$$

$$U_j = \{1; \exp(-j\Phi_j); \exp(-j2\Phi_j)\}^T; \quad (16)$$

Φ_j : انزياح طور التشويش بين العناصر المتجاورة للهوائيات.

$$\Phi_j = \frac{\omega_j}{\omega_c} \pi \sin \theta_j \quad (17)$$

من المعادلتين (14) و (16) يتضح أن التشويش المستمر غير المعدل من خرج الهوائي يتحول بنتيجة الإزاحة إلى ضجيج نبضي على دخل معالج الملائمة. وتتعلق استمرارية مثل هذا التشويش باستمرارية العمل على تردد واحد، وترتبط بقانون تشكيل التوليف شبه العشوائي للتردد العامل. ومن ثمة سنحصل على حالة مماثلة عند وجود مصدري ضجيج ضيقي الحزمة موزعة في الفراغ ضمن حزمة الترددات العريضة. تُمثل التشويشات الذاتية $Y_J(t)$ بعد الإزاحة ترددياً والترشيح في مرشح تمرير الحزمة على دخل معالج الملائمة ذي الحزمة الضيقة على النحو التالي:

$$X_N(t) = [n_{N1}(t), n_{N2}(t), n_{N3}(t)]^T \quad (18)$$

حيث:

$n_{Ni}(t)$ ، $i=1,2,3$: عملية غاوسية عشوائية مع وسط صفري ذي كثافة طيفية G_0 [3]. ونفرض أن $n_{Ni}(t)$: غير مرتبطة من الناحية الإحصائية ببعضها بعضاً. وأيضاً ψ_s و ψ_j همامستقلان عن بعضهما بعضاً.

بتعويض (11) & (14) و (18) في (2) نحصل على الإشارة النهائية على خرج معالج الملائمة، وبمعرفة شعاع $X(t)$ على دخل معالج الملائمة يمكن تحديد أوزان الملائمة $W_i(t)$ ، والتي تخضع للمعيار MMSE تحقق جملة المعادلة التفاضلية من المعادلة التالية:

$$\frac{dW(t)}{dt} + K_Y \Phi(t)W(t) = K_Y S_{OP}(t) \quad (19)$$

حيث K_Y : ثابت تضخيم دارة التغذية العكسية الترابطية.

$$W(t) = [W_1(t), W_2(t), W_3(t)]^T \quad (20)$$

حيث $W(t)$: شعاع الأوزان.

$$\Phi(t) = E[X^*(t)X^T(t)] \quad (21)$$

*: علامة التمثيل العقدي؛

$S_{OP}(t)$: شعاع الاقتران المرجعي.

$$S_{OP}(t) = E[X^*(t)r(t)] \quad (22)$$

$E[.]$: علامة المتوسط الحسابي.

بما أن شعاع الإشارة المفيدة $X_s(t)$ في المعادلة (11) والتشويش $X_j(t)$ في المعادلة (14)، وأشكال الضجيج $X_N(t)$ في المعادلة (18) على خرج المعالج تعد مرتبطة فيما بينها بعمليات عشوائية، فإننا نحصل من المعادلة (20) على المصفوفة $\Phi(t)$:

$$\begin{aligned} \Phi(t) &= E[X_s^*(t)X_s^T(t)] + E[X_j^*(t)X_j^T(t)] + E[X_N^*(t)X_N^T(t)] = \\ &= A_s^2 U_s^T(n) + A_j^*(n) + A_j^*(n)U_j^* U_j^T + \sigma_0^2 I, \quad (n-1)T_h \leq t \leq nT \end{aligned} \quad (23)$$

حيث I : المصفوفة الواحدية، التي تمثل عناصرها رمز كرونكر:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$

من أجل تحديد شعاع الترابط $Sop(t)$ سنفرض أن الإشارة المرجعية $r(t)$ لها الشكل نفسه الذي تكون عليه الإشارة المفيدة على دخل القنال الأولى لمعالج المتلائمة، ولكن بمطال A_r .

$$r(t) = A_r \exp \{ j [(\omega_j - \omega_{cr}) t + \psi_s] \}, \quad (n-1)T_h \leq t \leq nT_h \quad (24)$$

في هذه الحالة يكون شعاع الارتباط $Sop(t)$ في المعادلة (22) على النحو التالي:

$$S_{op}(t) = A_r A_s U_s^*(n) \quad (25)$$

وكما يتبين من المعادلتين (23)&(25) فإن المصفوفة $\Phi(t)$ وشعاع الارتباط المرجعي $S_{op}(t)$ يتعلقان فقط برقم القفزة الترددية n_k ، ولذلك فهما قيمتان ثابتتان من أجل العنصر الجزئي n ، $\Phi(t) \equiv \Phi(n)$ ، $S_{op}(t) = S_{op}(n)$ ، عندما يكون

$(n-1)T_h \leq t \leq nT_h$. وهكذا، فإنه خلال زمن دور واحد للقفزة الترددية من كامل مركبات تردد الإشارة $(1 \leq n \leq p)$ تتحقق الأوزان تبعاً للمعادلة (19) على النحو الآتي:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dW(t)}{dt} + K_y \Phi(1)W(t) &= K_y S_{op}(1), \quad T_0 \leq t < T_1; \\ \frac{dW(t)}{dt} + K_y \Phi(2)W(t) &= K_y S_{op}(2), \quad T_1 \leq t < T_2; \\ \frac{dW(t)}{dt} + K_y \Phi(p)W(t) &= K_y S_{op}(p), \quad T_{p-1} \leq t < T_p; \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

بفرض أن الشعاع $W(t)$ هو قيمة الشعاع $W(t)$ بعد انتهاء تأثير العنصر الترددي $(n-1)$. وبما أن $W(t)$ هي قيمة مستمرة، فإن $W(n-1)$ تعد القيمة الابتدائية للأوزان $W(T_n)$ بالنسبة للقفزة الترددية رقم n . باستخدام [2] يمكن حل مجموعة المعادلات التفاضلية (26) من أجل $1 \leq n \leq p$ على النحو التالي:

$$\left. \begin{aligned} W(t) &= \exp[-K_y \Phi(1)(t - T_0)] \cdot [W(T_0) - \Phi^{-1}(1)S_{op}(1)] + \\ &+ \Phi^{-1}(1)S_{op}(1), \quad T_0 \leq t < T_1; \\ W(t) &= \exp[-K_y \Phi(2)(t - T_1)] \cdot [W(T_1) - \Phi^{-1}(2)S_{op}(2)] + \\ &+ \Phi^{-1}(2)S_{op}(2), \quad T_1 \leq t < T_2; \\ W(t) &= \exp[-K_y \Phi(p)(t - T_{p-1})] \cdot [W(T_{p-1}) - \Phi^{-1}(p)S_{op}(p)] + \\ &+ \Phi^{-1}(p)S_{op}(p), \quad T_{p-1} \leq t < T_p; \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

القيم الأولية لثوابت التوزين لكل عنصر ترددي للإشارة ذات C.R.T.O.F (قفزة ترددية) مع القيمة الافتراضية الأولية $W(T_0)$ تحدد بطريقة التكرار منع شرط استمرارية $W(t)$ من مجموعة المعادلات (27).

إذا كانت $W(T_0)$ و $W(T_1)$ و $W(T_{p-1})$ معلومة، فيمكن تحديد شعاع الأوزان من المعادلات (27) من أجل أي فاصل زمني. وإذا كانت مركبات الترددات المركبة للإشارة $1 \leq n \leq p$ ذات طبيعة دورية، فيكون $Sop(t)$ تابعاً زمنياً دورياً.

وانطلاقاً من ذلك فإن $W(t)$ تحقق المعادلة التفاضلية مع الثوابت الدورية والحدود اللادورية [2]. كذلك فإن ناتج حل هذه المعادلة سوف يكون أيضاً تابعاً زمنياً دورياً بعد تخامد العمليات الانتقالية الابتدائية، والتي لن تؤخذ في الحسبان لاحقاً. بفرض أن الشعاع $W(t)$ يقع في النظام المقام، فيمكن عندها إيجاد القيم الأولى $W(T_0), W(T_1), \dots, W(T_{p-1})$ [5].

وعندها يمكن باستخدام دورية $W(t)$ استبدال الشعاع $W(T_p)$ بالشعاع $W(T_0)$. ومن ثمة يمكن باستخدام المعادلات (27) من أجل تحديد $W(t)$ في نهاية تأثير القفزة الترددية، الحصول على العلاقات التالية بين الأشعة الأولية $W(nT_h)$:

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= \exp[-K_y \Phi(1)(T_1 - T_0)] \cdot [W_0 - \Phi^{-1}(1)S_{op}(1)] + \\ &+ \Phi^{-1}(1)S_{op}(1) ; \\ W_2 &= \exp[-K_y \Phi(2)(T_2 - T_1)] \cdot [W_1 - \Phi^{-1}(2)S_{op}(2)] + \\ &+ \Phi^{-1}(2)S_{op}(2) ; \\ &\vdots \\ &\vdots \\ W_{p-1} &= \exp[-K_y \Phi(p-1)(T_{p-1} - T_{p-2})] \cdot [W_{p-2} - \Phi^{-1}(p-1)S_{op}(p-1)] + \\ &+ \Phi^{-1}(p-1)S_{op}(p-1) ; \\ W_p &= W_0 = \exp[-K_y \Phi(p)(T_p - T_{p-1})] \cdot [W_{p-1} - \Phi^{-1}(p)S_{op}(p)] + \\ &+ \Phi^{-1}(p)S_{op}(p), \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

حيث الشعاع $W_i = W(T_i)$ للتبسيط؛ إضافة إلى ذلك فقد تم استبدال W_p في المعادلة الأخيرة بـ W_0 . بعد

إعادة ترتيب العناصر (الحدود) بالشكل المصفوفي القياسي يمكن كتابة مجموعة المعادلات (28) على النحو التالي:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 - \exp[-ky\phi(p)(T_p - T_{p-1})] & 0 \\ -\exp[-ky\phi(1)(T_1 - T_0)] & 1 & 0 & 0 \\ 0 - \exp[-ky\phi(2)(T_2 - T_1)] & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & -\exp[-ky\phi(p-1)(T_{p-1} - T_{p-2})] & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_0 \\ W_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ W_{p-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{1 - \exp[-ky\phi(p)(T_p - T_{p-1})]\} \phi^{-1}(p)S_{op}(p) \\ \{1 - \exp[-ky\phi(1)(T_1 - T_0)]\} \phi^{-1}(1)S_{op}(1) \\ \vdots \\ \vdots \\ \{1 - \exp[-ky\phi(p-1)(T_{p-1} - T_{p-2})]\} \phi^{-1}(p-1)S_{op}(p-1) \end{bmatrix} \quad (29)$$

بتحديد $W(t)$ من (27) يمكن حل مجموعة المعادلات (29) بالنسبة لشعاع المعطيات الأولية عددياً ومنه نجد أن الأوزان تتغير مع الزمن، ومن ثمة تحقق الهوائيات المتلائمة تعديل إشارة الخرج المفيدة.

الإشارة المفيدة تمثل على خرج الهوائيات المتلائمة كالتالي:

$$S_s(t) = W^T(t)X_s(t) \quad (30)$$

أو بحساب المعادلة (11) نجد أن:

$$S_s(t) = A_s W^T(t)U_s(n) \exp\{j[(\omega_c - \omega_{cr})t + \psi_s]\}, \quad (n-1)T_h \leq t \leq nT_h \quad (31)$$

تتغير استطاعة كل من الإشارة المفيدة $P_s(t)$ واستطاعة التشويش $P_j(t)$ على خرج الهوائي المتلائم مع الزمن تبعاً للعلاقات التالية:

$$P_s(t) = \frac{1}{2} A_s^2 |W^T(t)U_s(n)|^2, \quad (n-1)T_h \leq t \leq nT_h \quad (32)$$

$$P_j(t) = \frac{1}{2} A_j^2 |W^T(t)U_j(n)|^2, \quad (n-1)T_h \leq t \leq nT_h \quad (33)$$

ويمكن تمثيل العلاقات بالنسبة لمنحنى التعديل $a_s(t)$ ، ومنحنى الطور $h_s(t)$ للإشارة المفيدة $S(t)$ على خرج الهوائي المتلائم المبين بالشكل (3) كمايلي:

$$a_s(t) = A_s |W^T(t)U_s(n)|, \quad (n-1)T_h \leq t \leq nT_h \quad (34)$$

$$h_s(t) = \arg |W^T(t)U_s(n)|, \quad (n-1)T_h \leq t \leq nT_h \quad (35)$$

باستخدام $P_s(t)$ في المعادلة (32) و $P_j(t)$ في المعادلة (33)، وكذلك العلاقة (36) من أجل حساب استطاعة الضجيج $P_j(t)$:

$$P_j(t) = \frac{\sigma_0^2}{2} |W(t)|^2 \quad (36)$$

ومنه يمكن كتابة النسبة الإشارة إلى (التشويش مع الضجيج) $JNR \& SNR$ على خرج الهوائي المتلائم على النحو التالي:

$$q^2(t) = \frac{P_s(t)}{P_j(t) + P_j(t)} = \frac{q_{\text{ex}}^2 (c - J) |W^T(t)U_s(n)|^2}{q_{\text{ex}}^2 (N - J) |W^T(t)U_j|^2 + |W(t)|^2} \quad (37)$$

$$(n-1)T_h \leq t \leq nT$$

$q_{\text{BX}}^2 (c - J)$: نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR لإشارة الدخل من أجل القفزة الترددية رقم n ، $q_{\text{BX}}^2 (c - J) = A_s^2 / \sigma_0^2$ ؛ $q_{\text{BX}}^2 (N - J)$: نسبة التشويش إلى الضجيج للدخل JNR خلال القفزة الترددية رقم n (عندما يظهر التشويش على خرج مرشح تمرير الحزمة).

$$q_{\text{BX}}^2 (N - J) = \begin{cases} A_j^2 / \sigma_0^2, & |\omega_j - \omega_{cr} - \Delta\omega_h| \leq F_s / 2; \\ 0, & |\omega_j - \omega_{cr} - \Delta\omega_h| > F_s / 2. \end{cases}$$

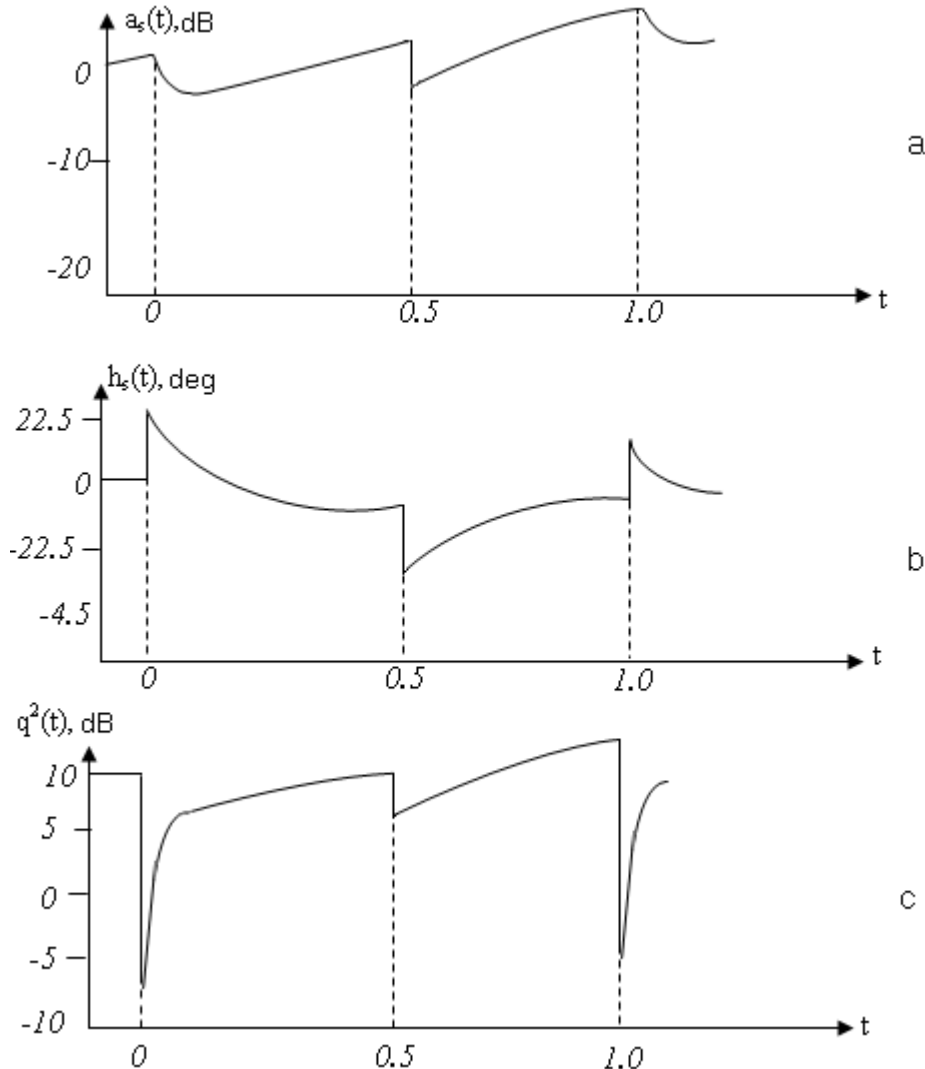
النتائج والمناقشة:

بإجراء النمذجة على الحاسب تم الحصول على علاقات بيانية متعددة تبين تأثير الإشارات ذات التوليف شبه العشوائي للتردد العامل ثنائي القفزة على الهوائي المتلائم ثلاثي العناصر والتي تحقق متطلبات المعيار MMSE. ومثال تأخذ المخططات في الشكل (3) الذي يمثل:

a- المنحني $a_f(t)$: منحني التعديل لإشارة الخرج المفيدة $S(t)$.

b- طور $h_f(t)$ لإشارة الخرج المفيدة $S(t)$.

c- SNR من أجل قفزين تردديتين $p=2$ بالنسبة للزمن، والتي يبدأ عندها العنصر الترددي الأول (القفزة الترددية) في اللحظة $t_H=0$ وينتهي في اللحظة $t_k=0,5$. أما العنصر الثاني فيبدأ في اللحظة $t_H=0,5$ وينتهي في اللحظة $t_k=1,0$.



الشكل (3) يبين منحنيات التعديل الطوري ونسبة الإشارة للضجيج. القيم 0, 0.5, 1 هي قيم اعتبارية من أجل البرمجة وتمثل خطوة القفز.

تم اعتبار القيم التالية عند النمذجة على الحاسب:

$$\theta_s=15^\circ; \theta_j=30^\circ; q_{BX}^2(c-j)=6 \text{ dB};$$

$$q_{BX}^2(\pi-j)=20 \text{ dB}; \omega_{c1}=0,95 \omega_c \text{ for } 0 \leq t \leq 0,5; \omega_{c2}=1,05 \omega_c \text{ for } 0,5 \leq t \leq 1,0;$$

✓ التشويش يؤثر فقط عند التردد $\omega_j=0,95 \omega_c$.

✓ نستنتج من الشكل (3) المنحنى $a_s(t)$ وطور الإشارة $h_s(t)$ وكذلك $JNR\&SNR$ ذات طابع تدرجي. وهذا يمكن تفسيره بأن القفزة الترددية للإشارة خلال الاتجاه المفروض لمروها مكافئة لتغير زاوية ورود الإشارة. وتؤدي القفزة الترددية بـ $\Delta\omega$ إلى انزياح مخطط الإشعاع المتشكل بمقدار $\Delta\theta$ ، وهكذا فإن التشويش يخرج عن صفر مخطط الإشعاع للهوائي.

✓ يتناقص $JNR\&SNR$ على خرج الهوائي المتلائم على نحو قفزي مما يتطلب فترة زمنية ما لتعود $JNR\&SNR$ إلى قيمتها السابقة ثانية.

✓ تحدد علاقة الخرج (نسبة الإشارة إلى التشويش مع الضجيج) بدورها احتمال الخطأ في استقبال الإشارة.

✓ يبين التحليل والرسومات البيانية الواردة في الشكل (3) بوضوح التأثير السلبي للإشارات ذات التوليف شبه العشوائي للتردد العامل C.R.T.O.F في المميزات العاملة للهوائي المتلائم، والتي تحقق معيار خطأ المتوسط التربيعي الأصغري MMSE.

التوصيات:

- إمكانية تلافي الأثر السلبي للقفز الترددي بواسطة تأمين البرمجيات المناسبة، والتعديل التقني، وتحديث الخوارزميات العاملة في هذا الاتجاه.

المراجع:

- 1- ШАХКИЛ, Д.Я.; *Адаптивная обработка сигналов*. Москва 1989. 380-400.
- 2- БОРИСОВ. В.И.; ЗЕНЧУК. В.М.; ЛЕМОРЕВ А.Е.; ШЕСТОБАЛОВ, В.И. *Помехозащитность систем радио связи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты*. Москва 2001, 270-301.
- 3- ГАЛАНИЧЕВА, Т.К.; МОЛВИНСКАЯ. Л.Ю, *Справочник по вероятностным распределениям*. ВМА 1999. 110-130.
- 4- ACORL,COMPTON. R.T.; *The Performance of IMS Adaptive Arrays with Frequency-Hopped Signals*, IEEE trans ,No3, 1985. 360-371.
- 5- WANG,I.R.; UCCLD.R. *The Performance of Frequency-Hopped Adaptive with an Injected pilot signals ' IEEE ' milcom,87, Washington ,1987. 271-275 .*
- 6- TORRIERI,D.G.; BAKHRU.K. *An Anticipative Adaptive arrays for Frequency-Hopping Communications ' IEEE' milcom, 88, Washington 1988,276-282.*