

تحسس الطيف وكشف الإشارة في أنظمة الراديو الإدراكي باستخدام تقنية الدوري المستقر Cyclostationary

طالبة الدراسات العليا: سوزان ايمن الملحم

اختصاص: هندسة اتصالات - القسم: الهندسة الالكترونية والاتصالات

الكلية: الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

اشراف: د. اسبر ابراهيم

الملخص

فرض الطلب المتزايد على التطبيقات اللاسلكية الكثير من القيود على استخدام الطيف الراديوي المتاح وهو مورد محدود وثمين. ومع ذلك ، فقد أدى تخصيص الطيف الثابت إلى استخدام أقل من الطيف حيث لا يتم استخدام جزء كبير من الطيف المرخص بشكل فعال. يعد الراديو الإدراكي تقنية واعدة توفر طريقة جديدة لتحسين كفاءة استخدام الطيف الكهرومغناطيسي المتاح. يساعد استشعار الطيف على اكتشاف ثقوب الطيف (نطاقات الطيف غير المستغلة بالكامل) التي توفر طيفاً عالي السعة. في هذا البحث، يتم استعراض تقنيات استشعار الطيف. وتتم مناقشة التحديات والقضايا التي ينطوي عليها تنفيذ تقنيات استشعار الطيف مع إعطاء دراسة مقارنة لمختلف المنهجيات في خوارزمية Cyclostationary.

الكلمات المفتاحية: الراديو الإدراكي ، تحسس الطيف، طريقة الدوري المستقر ، خوارزمية FAM ، خوارزمية SSCA.

Spectrum Sensing and Signal Detection in Cognitive Radio Systems Using Cyclostationary Technology

Abstract:

The growing demand of wireless applications has put a lot of constraints on the usage of available radio spectrum which is limited and precious resource. However, a fixed spectrum assignment has lead to under utilisation of spectrum as a great portion of licensed spectrum is not effectively utilised. Cognitive radio is a promising technology which provides a novel way to improve utilisation efficiency of available electromagnetic spectrum. Spectrum sensing helps to detect the spectrum holes (underutilised bands of the spectrum) providing high spectral capability. In this research. A review of spectrum sensing techniques is presented. The challenges and issues involved in implementation of spectrum sensing techniques are discussed in detail giving comparative study of various methodologies in Cyclostationary Technology

Keywords: Cognitive Radio, Spectrum Sensing, Cyclostationay method, FAM method and SSCA Algorithm

المقدمة: Introduction:

يعد الطيف الراديوي الكهرومغناطيسي المتاح مورداً طبيعياً محدوداً ويزدحم يوماً بعد يوم بسبب الزيادة في الأجهزة والتطبيقات اللاسلكية. وقد وجد أيضاً أن الطيف المخصص غير مستغل بسبب التخصيص الثابت للطيف. كما أن النهج التقليدي لإدارة الطيف غير مرن للغاية بمعنى أنه يتم منح كل مشغل لاسلكي ترخيصاً حصرياً للعمل في مجال تردد معين. ومع تخصيص معظم الطيف الراديوي المفيد بالفعل ، من الصعب العثور على نطاقات شاغرة لنشر خدمات جديدة أو لتعزيز الخدمات الموجودة. من أجل التغلب على هذا الوضع ، نحتاج إلى التوصل إلى وسيلة لتحسين استخدام الطيف ، مما يخلق فرصاً للوصول الديناميكي إلى الطيف.

يمكن حل مشكلة قلة استخدام الطيف في الاتصالات اللاسلكية بطريقة أفضل باستخدام تقنية الراديو الإدراكي (CR) . حيث تم تصميم أجهزة الراديو الإدراكية من أجل توفير اتصالات موثوقة للغاية لجميع مستخدمي الشبكة ، في أي مكان وكلما دعت الحاجة ، ولتسهيل الاستخدام الفعال للطيف الراديوي .يمكن للراديو الإدراكي تغيير بارامترات جهاز الإرسال الخاص به بناءً على التفاعل مع البيئة التي يعمل فيها. يلعب تحسس الطيف دوراً حيوياً في الراديو الإدراكي لاستشعار الطيف الحامل وتخصيص الطيف الشاغر للمستخدم الثانوي. تشمل طرق استشعار الطيف الرئيسية والبارزة [4] الكشف المعتمد على الطاقة (Energy Detection) ، وكشف المرشح المتوافق (Matched Filter) ، وكشف ميزات الدوري المستقر (Cyclostationary Feature Detection) ،. يناقش هذا البحث طريقة الكشف المعتمدة على الدوري المستقر (cyclostationary) التي أثبتت قوتها في تحسس الطيف الراديوي ومناعتها القوية ضد الضجيج حيث تستغل الإحصائيات الدورية والارتباط الطيفي للإشارة المستقبلية للكشف عن وجود الإشارة الأولية في القناة وستتم دراسة الخوارزميات الحسابية المتبعة في حساب كثافة الاستطاعة الطيفية للإشارات والخوارزميات هي:

تراكم تحويل فورييه السريع (FAM(FFT Accumulation Method) وخوارزمية الارتباط الطيفي الشرائحي (SSCA(Strip Spectral Correlation Algorithm) والمقارنة بين هاتين الخوارزميتين السابقتين .

أولاً- الهدف من البحث:

يهدف البحث هنا إلى دراسة وتحليل خوارزميات تحسس الطيف المتبعة في الراديو الإدراكي ومقارنة هذه الخوارزميات عبر محاكاتها باستخدام برنامج الماتلاب والتركيز على الطريقة الأفضل وتوضيح نقاط الضعف والقوة لكل خوارزمية.

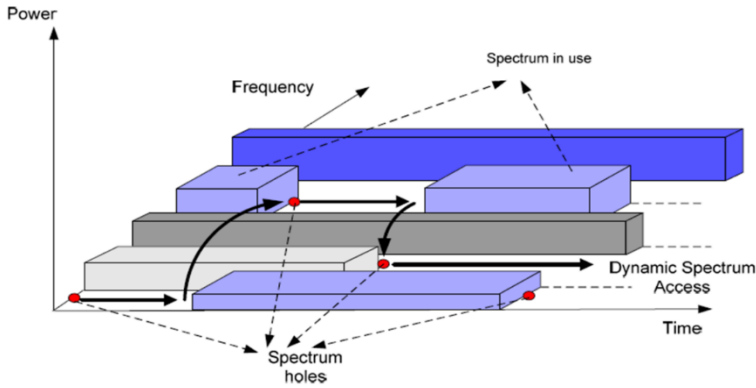
ثانياً- مواد وطرق البحث:

تم استخدام برنامج MATLAB للمحاكاة من خلال استخدام العلاقات الرياضية لكل من خوارزميات تحسس الطيف باستخدام تقنية Cyclostationary.

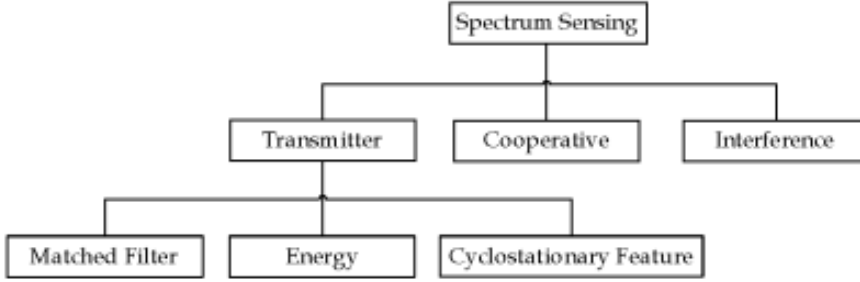
ثالثاً- الراديو الإدراكي:

الراديو الإدراكي (Cognitive Radio) هو راديو للاتصالات اللاسلكية ، والذي يغير سلوكيات الإرسال والاستقبال وفقاً للبيئة المحيطة لأخذ أفضل طيف يمكن الحصول عليه ويتحايل على التداخل مع المستخدم المرخص له. حيث يسمح بالاستخدام الفعال للطيف الراديوي غير المستغل بالكامل ويسمح أيضاً بمشاركة الطيف المتاح من قبل مستخدم ثانوي مع المستخدم الأساسي. في مصطلحات CR ، يُطلق على المستخدم المرخص له الذي يصل إلى طيف معين بحرية تخصصه لجنة الاتصالات الفيدرالية (Federal Communications Commission) اسم المستخدم الأساسي (Primary User) الذي يكون له أولوية أعلى. أما المستخدمون غير المرخص لهم الذين يستغلون التردد غير المستخدم ديناميكياً ، معروفون كمستخدم ثانوي (Secondary User) ولهم أولوية منخفضة.

نظراً لعدم استخدام الطيف المرخص بكل زمن ومكان ومن أجل زيادة استخدامية الطيف وزيادة عدد المستخدمين المستفيدين من موارد الطيف، يقوم الراديو الإدراكي بالبحث عن الهدف الذي يُشار إليه باسم ثقب الطيف أو المساحة البيضاء ولكن عندما المستخدم الأولي (الأساسي) يسجل الدخول فجأة للطيف ينتقل الراديو الإدراكي للحزمة المعينة إلى ثقب طيف آخر. حيث لا يأخذ الإرسال من قبل مستخدم غير مرخص مكانه (مجال الطيف) إلا إذا كان المستخدم الأساسي لا يصل إلى مجال التردد هذا. يجب أن يكون المستخدم الثانوي مؤهلاً لمغادرة النطاق أو الطيف إذا تم التعرف على الإرسال بواسطة مستخدم أساسي. يجب أن يتمتع الراديو المعرفي بالاستطاعة وخصائص إعادة التكوين لجعل ذلك ممكناً.



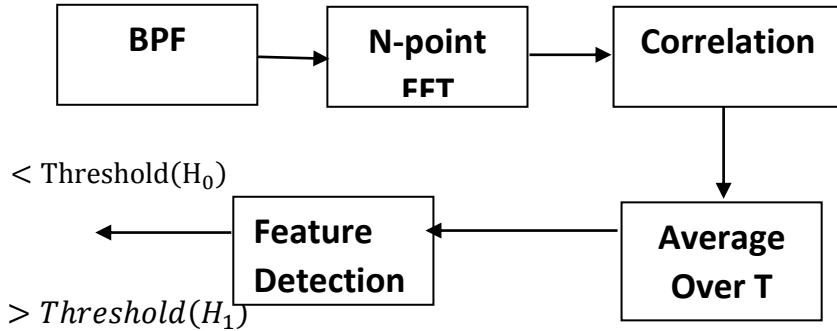
الشكل (1) : مفهوم ثقب الطيف (المساحات البيضاء)[11].



الشكل (2): تقنيات تحسس الطيف المعتمدة في الراديو الإدراكي [19].

رابعا- كشف ميزة Cyclostationary :

يستغل كاشف ميزة Cyclostationary الميزات أو الخصائص الدورية المستقرة للإشارة المستقبلية للكشف عن إشارة المستخدم الأولية في الطيف. الميزات الدورية المستقرة للإشارات لها إحصائيات دورية مثل المتوسط والترابط الذاتي والطور وما إلى ذلك تختلف في الفاصل الزمني الدوري. تتمتع هذه الطريقة بحصانة أعلى للضوضاء في القناة من أي طرق أخرى لاستشعار الطيف لأن الضوضاء عشوائية بطبيعتها ولا تتمتع بخصائص دورية مستقرة . يمكن استخراج هذه الميزات الدورية المستقرة من الإشارة باستخدام بارامتر يسمى تابع الارتباط الدوري الذاتي (CAF).



الشكل(3): طريقة كشف ميزة cyclostationary [4]

يتم إعطاء الارتباط الدوري الذاتي للإشارة المستقبلية بواسطة الصيغة :

$$R_x^\alpha(\alpha) = \lim_{\Delta \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta} \int_{-\frac{\Delta}{2}}^{\frac{\Delta}{2}} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi\alpha t} dt \quad (1)$$

حيث لدينا:

α هو التردد الدوري ، و τ هو التأخير الزمني ، إذا كان هناك تردد دوري واحد على الأقل غير صفري α بحيث تكون $|R_x^\alpha|$ يجب أكبر من الصفر ثم نقول أن الإشارة المستقبلية $x(t)$ تعرض خصائص دورية مستقرة. يعتمد التردد الدوري على نوع التعديل ومدة الرمز وما إلى ذلك في الإشارات الرقمية المشكلة لفترة الرمز T_b يوجد التردد الدوري عند عدد صحيح مضاعف لمقلوب T_b . يعطي تحويل فورييه للارتباط الدوري الذاتي كثافة الارتباط الطيفية تحدها المعادلة.

$$S_X^\alpha = \int_{-\infty}^{+\infty} R_X^\alpha(\alpha) e^{-j2\pi f \tau} d\tau \quad (2)$$

الإشارة المستقبلية $x(t)$ لها خصائص دورية مستقرة أي أن هناك على الأقل تردد دوري α غير صفري من أجل R_X^α لا يساوي الصفر لبعض τ . بينما الضجيج ثابت لأي تردد دوري α غير صفري و تابع الارتباط الدوري الذاتي للضجيج R_W^α يساوي الصفر من أجل كل τ .

في الكشف عن الإشارة الثنائية أو استشعار الطيف ، هناك فرضيتان تغيب إشارة H_0 ، إشارة H_1 موجودة.

يتم تحديد الإشارة المستقبلية بواسطة:

$$H_0 = n(t) \quad (3)$$

$$H_1 = x(t) + n(t) \quad (4)$$

حيث $n(t)$ يمثل الضجيج و $x(t)$ الإشارة المستقبلية

لنفترض أن α_0 يكون تردداً دورياً غير صفري من أجل R_X^α لا يساوي الصفر بالنسبة لبعض τ

على افتراض أن الضجيج والإشارة مستقلتان عن بعضهما البعض

$$H_0: R_y^{\alpha_0}(\tau) = 0 \quad (5)$$

$$H_1: R_y^{\alpha_0}(\tau) \neq 0 \quad (6)$$

من أجل بعض قيم τ

الفرضية H_0 و H_1 في مجال التردد هي :

$$H_0: S_X^\alpha(\tau) = 0 \quad (7)$$

$$H_1: S_X^\alpha(\tau) \neq 0 \quad (8)$$

من أجل بعض قيم f .

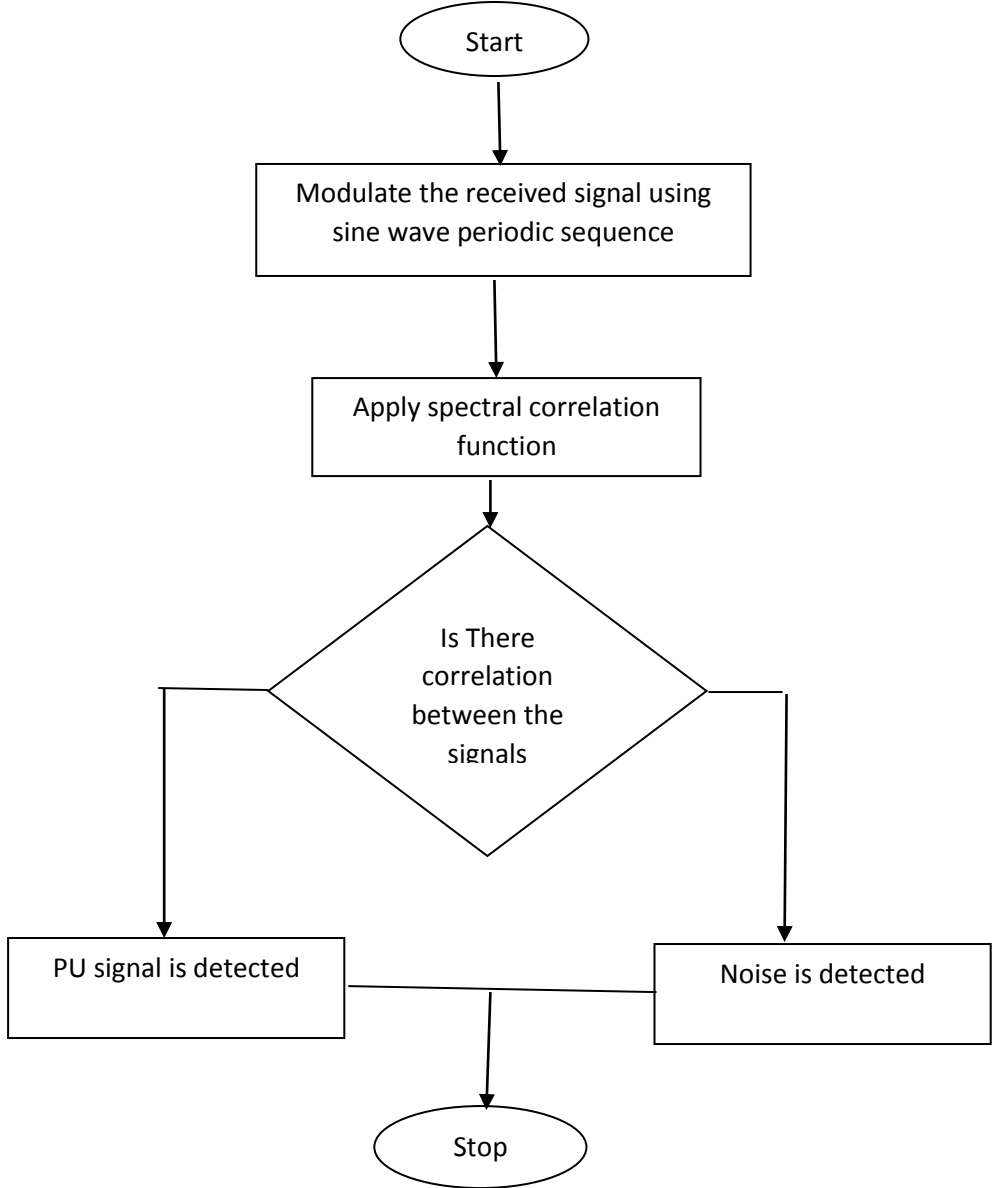
يمكن تمييز H_0 و H_1 عن طريق توليد إحصائية اختبار من الارتباط الدوري الذاتي أو

كثافة الارتباط الطيفي عند التردد الدوري α_0 ومقارنة إحصائية الاختبار بالعتبة. يتم

إعطاء عتبة نموذجية بواسطة المعادلة:

$$C = \int |R_y^{\alpha_0}(\tau)|^2 d\tau \quad (9)$$

من الناحية العملية ، لا يتوفر سوى عدد محدود من العينات. لنفترض أن T هي فترة أخذ العينات و N هي عدد العينات.



الشكل(4): المخطط التدفقي لتطبيق ميزة كشف cyclostationary [5]

يتم إعطاء النسخة المتقطعة من الارتباط الذاتي بواسطة

$$R_Y^\alpha(KT_s) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{M-1} y((n+k)T_s) y^*(nT_s) e^{-2\pi\alpha nT_s} \quad (10)$$

حيث التأخير $k = 0, 1, 2, \dots, M - 1$

وأعظم قيمة للتأخير يجب أن تكون أصغر بكثير من عدد العينات الكلي $M \ll N$.

يتم إعطاء النسخة المتقطعة من إحصاء الاختبار بواسطة عتبة نموذجية محددة في المعادلة رقم (9).

يتم تعيين العتبة بناءً على قوة الضجيج الأبيض في القناة حيث من المستحيل اكتشاف استطاعة الضجيج بدقة في القناة. يمكننا استخدام الحد الأقصى لتخمين الاحتمالية لاستطاعة الضجيج. يتم إعطاء التخمين بواسطة تباين الضجيج:

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |y(nT_s)|^2 \quad (11)$$

يتم اختيار العتبة على أنها $\beta\sigma_n^4$ حيث β هي قيمة عددية لتلبية الاحتمال المحدد مسبقاً للإنداز الخاطئ واكتشاف الأخطاء.

خامساً - تخمين كثافة الارتباط الطيفي (SCD):

يستخدم التحليل الطيفي الدوري للكشف عن وجود إشارة عبر تابع كثافة الارتباط الطيفي (Spectral Correlation Density (SCD)). لتحقيق هذا الهدف ، تم تطوير سلسلة من الرموز التي تقدر تابع SCD بلغة MATLAB. هذه الرموز عبارة عن تطبيقات لخوارزميتين لتنعيم الزمن تعتمدان على FFT تسمى طريقة تراكم FFT (FAM) وخوارزمية الارتباط الطيفي الشرائحي (SSCA).

تنقسم خوارزميات التحليل الطيفي الدوري عموماً إلى فئتين: هما خوارزميات تنعيم التردد و خوارزميات تنعيم الزمن . على الرغم من أن كلا الفئتين من الخوارزميات تنتج

تخمينات تقريبية مماثلة للطيف الدوري ، إلا أن خوارزميات تنعيم الزمن تعتبر أكثر كفاءة من الناحية الحسابية للتحليل الطيفي الدوري العام.

A. طريقة تراكم (FAM) FFT:

FAM هي إحدى طرق الخوارزمية المنعمة بالزمن والتي تتمتع بكفاءة جيدة وحسابات حكيمة. يمكن تشكيل خوارزمية التنعيم الأساسية بالزمن عن طريق تخمين الزمن المنعم للفترة الزمنية الدورية عند التردد الدوري f_0, α_0 . يُعطى الرسم البياني الدوري المتقاطع للزمن من خلال [14] :

$$S_{xy}^{\alpha_0}(n, f_0)_{\Delta t} = \left[X_T(n, f_0 + \frac{\alpha_0}{2}) Y_T^*(n, f_0 - \frac{\alpha_0}{2}) \right] \quad (12)$$

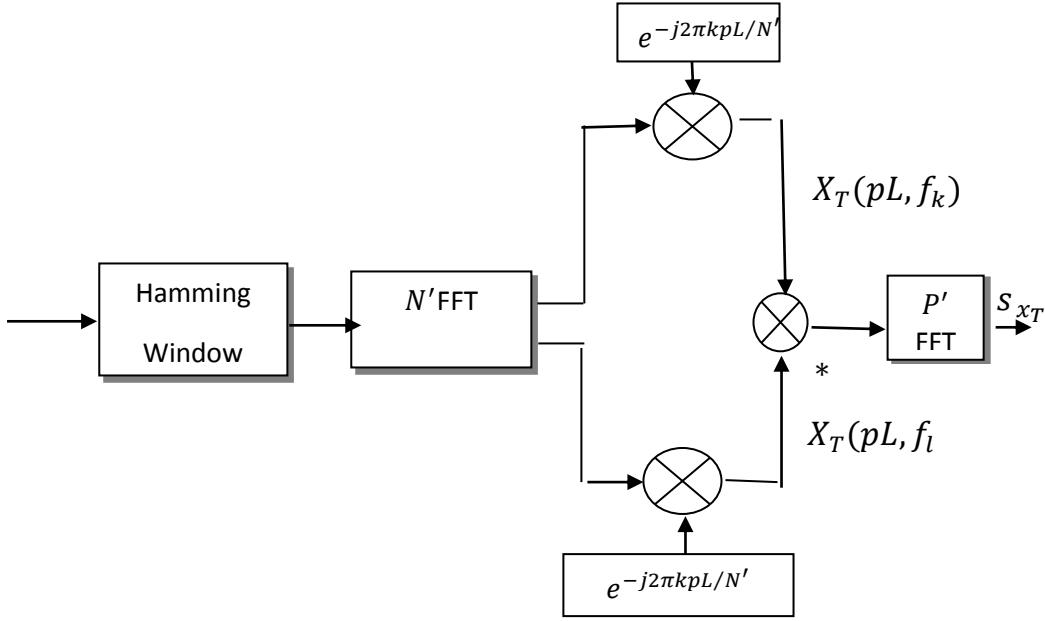
يؤدي التعديل في خوارزمية الزمن المنعمة إلى خوارزميات حسابية مختلفة مثل طريقة تراكم FFT (FAM) وخوارزمية الارتباط الطيفي الشريطي (SSCA). إن FAM عبارة عن تحويل فورييه لنواتج الارتباط بين المكونات الطيفية التي يتم تنعيمها بمرور الزمن. أما SSCA هو تحويل فورييه لنواتج الارتباط بين المكونات الزمنية والطيفية التي تم تنعيمها بمرور الزمن.

مفهوم FAM هو التقاط قطعة من الإشارة الواردة $x[n]$ في مدة زمنية Δt وهي النسخة المعينة من $x[t]$ عند fs ، ويتم حساب الكثافة الطيفية في هذا النطاق. يتم إجراء الحساب بشكل متكرر على مدى قطع متتالية في المجال الزمني $S_x^\alpha(n, f)_{\Delta t}$ حتى يتم تلبية التطبيق. من حيث زمن الحساب وتحقيق تخمين الطيف المتقاطع لـ FAM حسب المعادلة التالية [4]:

$$S_{xy}(pl, f_h)_{\Delta t} = \sum X_T(rL, f_k) Y_T^*(rL, f_l) g_c(p - r) e^{j2\pi r q / p} \quad (13)$$

يُعطى التخمين الطيفي الذاتي لـ FAM بواسطة [4]:

$$S_{xy}(pl, f_h)_{\Delta t} = \sum X_T(rL, F_k) X_T^*(rL, F_l) g_c(p - r) e^{j2\pi r q / p} \quad (14)$$



الشكل (5): المخطط الصندوقي لخوارزمية FAM [14]

يتمثل $X_T(rL, f_k)$ و $Y_T(rL, f_l)$ هي مدخلات فك التعديل العقدي لكتلة FFT وتمثل $g_c(p - r)$ نافذة هامينغ. مخطط الطيف المتقاطع FAM ، وهو ناتج تحويل FFT الأول الذي يملك عدد من الترددات الممثلة في مستوى ثنائي الأبعاد. الشكل (5) . يوضح المخطط الصندوقي لـ FAM.

يتم تنفيذ FAM من خلال تشكيل مصفوفة من $X(kT)$ ، حيث يختلف k من 0 إلى $N - 1$. يتم الحصول على المصفوفات ثنائية الأبعاد ذات الأعمدة التي تمثل ترددات ثابتة من خلال تطبيق المدخلات على نافذة هامينغ وتحويل فورييه السريع ثم تحويلها إلى النطاق الأساسي.

B. خوارزمية الارتباط الطيفي الشرائحي (SSCA):

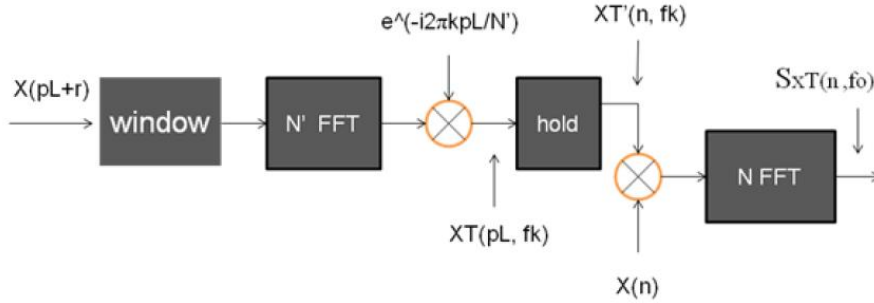
SSCA هي خوارزمية تتعيم للزمن تعتمد على FFT . يتم تنفيذ SSCA من خلال تشكيل مصفوفة من $X(KT)$ مع صفوف طولها N من بيانات عينة الإدخال. يتم إزاحة نقطة البداية لكل صف ناجم عن الصفوف السابقة التي تبدأ من عينات L . يتم استخدام نافذة هامينغ عبر كل صف وإجراء تحويل فورييه السريع وتحويله إلى نطاق أساسي. تسمح خوارزمية الارتباط الطيفي الشرائحي بضرب $X_T(n, f_k)$ بـ $Y^*(n)$ مباشرة.

يتم إعطاء تخمين SSCA عبر الطيف بواسطة [4]:

$$S(n, f_k/2)_{\Delta t} = \sum X_T(r, f) \cdot Y^*(r) g_c(n - r) e^{j2\pi r r q/n} \quad (16)$$

يُعطى التخمين الطيفي الذاتي لـ SSCA بواسطة [4]:

$$S(n, f_k/2)_{\Delta t} = \sum X_T(r, f) \cdot X^*(r) g_c(n - r) e^{j2\pi r r q/n} \quad (17)$$



الشكل (6): المخطط الصندوقي لخوارزمية SSCA [14]

سادساً- دراسات مرجعية:

هناك دراسة مرجعية في مقالة عام (2018) [9] تقوم بالمقارنة بين خوارزميتين حساب كثافة الاستطاعة الطيفية وهما FAM(FFT) و SSCA حيث إن الإشارة المراد حساب كثافة الاستطاعة الطيفية هي عبارة عن نبضة مستطيلة لإشارة BPSK

والبارامترات المعتمدة في التخمين هي:

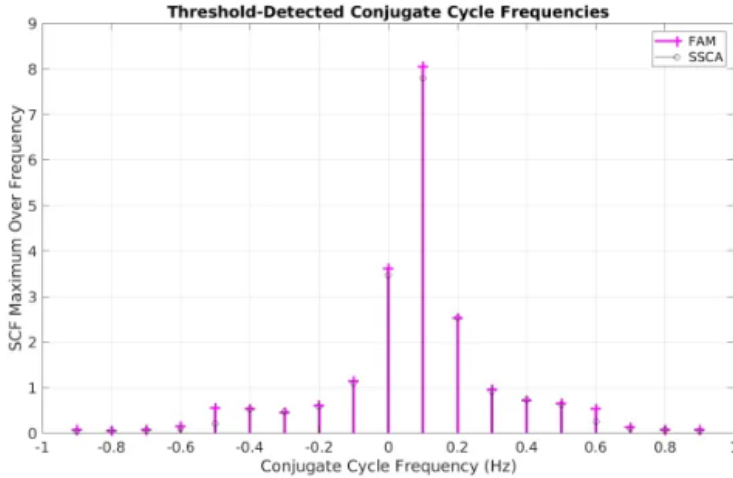
$$N = 32768 \text{ عدد العينات الكلي}$$

$$N' = 32 \text{ وعدد قنوات الدخل}$$

$$L = N'/4 \text{ طول النافذة}$$

$$P_{FA} = 10^{-9} \text{ بارامتر احتمال الكشف الخاطئ}$$

فيكون تابع الارتباط الطيفي للنبضة المستطيلة لإشارة BPSK لكل من FAM(FFT) و SSCA كما هو موضح في الشكل (7)



الشكل(7): نتائج مقارنة تابع الارتباط الطيفي للنبضة المستطيلة لإشارة BPSK حسب الخوارزميتين FAM(FFT) و SSCA بالنسبة للتردد الدوري.

نلاحظ من الشكل السابق بأن قيم تابع الارتباط الطيفي في خوارزمية FAM(FFT) يأخذ قيم أعلى منها بقليل في خوارزمية SSCA. وتكون خوارزمية FAM(FFT) هي الأكثر دقة من خوارزمية SSCA بالرغم من إنها الأكثر تعقيداً.

في دراسة مرجعية أخرى تم نشر مقالة في صحيفة (EJSR) عام 2012 تقوم بالمقارنة بين خوارزمتين حساب كثافة الاستطاعة الطيفة وهما FAM و SSCA نلاحظ التالي:

تتبع طريقتا FAM و SSCA تدفقاً مشابهاً ولكن مع حدوث بعض التغيرات في خوارزمية SSCA واختصار بعض الخطوات ، لذلك يتم تقليل عدد البرامترات في SSCA مقارنةً ب FAM من الضرب مما يعني أنه لن يكون هناك تغيير في التعقيد حتى إذا تم تغيير النافذة. عندما يتم محاكاة الخوارزمتين باستخدام MatlabR2010 ، تزداد سرعة التنفيذ في SSCA مقارنة ب FAM. ويتم تقليل زمن التنفيذ بمقدار النصف في SSCA مقارنة ب FAM. كما هو موضح في الجدولين (1) و (2).

الجدول(1): مقارنة التعقيد بين الخوارزمتين FAM و sscA [10]

Steps	FAM	SSCA
Applying the window	$2PN'$	$2PN'$
First FFT	$2PN' \log_2 N'$	$2PN' \log_2 N'$
Down Conversion	$4PN'$	$4PN'$
Multiplication	$4N'N'P$	$4NN'$
Second FFT	$2PN' N' \log_2 P$	$2NN' \log_2 N$

الجدول(2): مقارنة سرعة تنفيذ كل من الخوارزمتين FAM و sscA باستخدام

MatlabR2010

TRIAL	FAM (TIME IN SEC)	SSCA (TIME IN SEC)
1	0.9592	0.5780
2	1.0101	0.5776
3	0.9500	0.5795

وهكذا يتم مقارنة حساب سرعة التنفيذ لخوارزميات FAM و SSCA ومن النتائج السابقة نستنتج أن خوارزمية SSCA تثبت أنها أفضل من خوارزمية FAM من حيث السرعة وزمن التنفيذ و التعقيد الحسابي.

سادسا- ميزة طريقة الكشف عن Cyclostationary :

يمكن وصف إشارات أنظمة الاتصالات اللاسلكية على أنها ذات خصائص دورية مستقرة والتي تظهر فترات دورية أساسية في هيكلها. تحتوي هذه الفترات الدورية على نمط محدد مميز ينتج فيه ارتباط الإشارة بالإصدار المحول من نفسه بقيمة محددة مما يجعل انتقائية الإشارة ممكنة حتى عند انخفاض نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) للغاية.

بالإضافة إلى ذلك ، يتم الاحتفاظ بالمعلومات الأكثر ثراءً في مجال الطيف الدوري مثل تمثيل التردد والطور للإشارة الواردة المتعلقة بهذه الفترات الدورية. علاوة على ذلك ، من منظور التنفيذ ، فإن النقطة المهمة المتمثلة في أن التداخل والضجيج لا يظهران أي ارتباط طيفي يكون فيه الارتباط الطيفي للضجيج فريداً وكبيراً عند التردد الدوري يساوي صفر مقارنة بالترددات الدورية الأخرى.

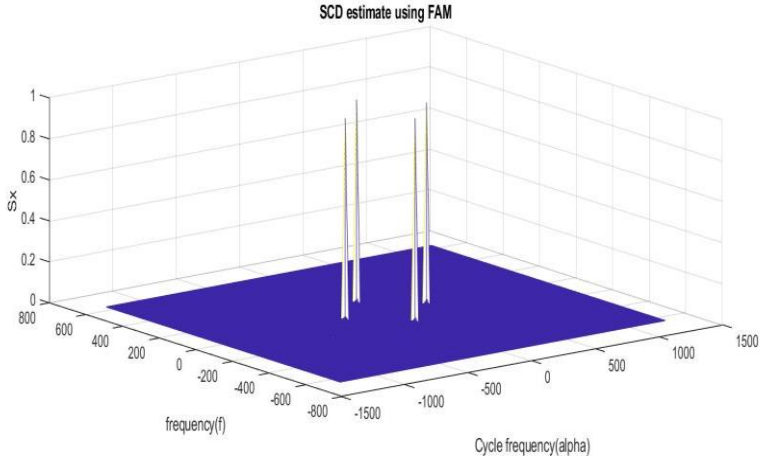
سابعا - نتائج المحاكاة:

سنقوم بإجراء المحاكاة باستخدام برنامج الماتلاب للخوارزميات المتبعة في حساب كثافة الاستطاعة الطيفية لتقنية Cyclostationary في تحسس الطيف الراديوي، والخوارزميات التي سيتم العمل عليها والمقارنة بينهما هما (FAM,SSCA) .
 يبين لدينا الشكل (8) المخطط ثلاثي الأبعاد لحساب كثافة الاستطاعة الطيفية لإشارة BPSK حسب خوارزمية FAM حيث تم الاعتماد على البارامترات التالية الواردة ضمن الجدول (3).

الجدول (3): بارامترات المحاكاة للخوارزميتين FAM,SSCA

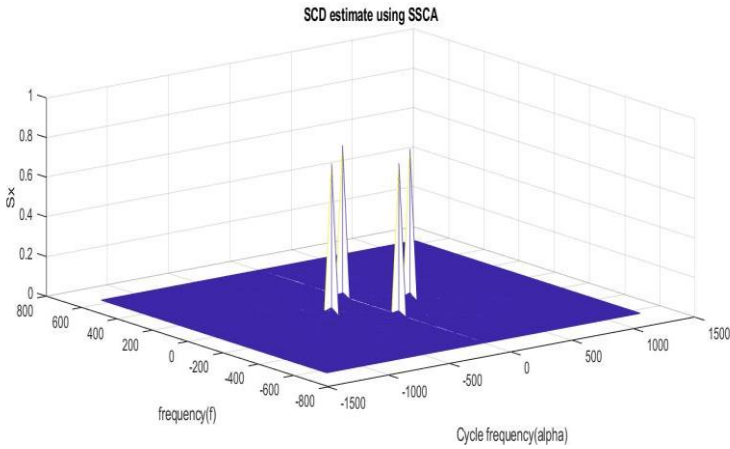
$f_s = 1280 \text{ Hz}$	تردد أخذ العينات
$f_c = 160 \text{ Hz}$	تردد الحامل
$N = 4096$	عدد العينات الكلي
$L = 8$	طول نافذة هامينغ
$f = (-250 \sim 250) \text{ Hz}$	تردد الطيف
$\alpha = (-500 \sim 500) \text{ Hz}$	تردد الطيف الدوري
$S = (0 \sim 1) \text{ dB/Hz}$	كثافة الاستطاعة الطيفية

تحسس الطيف وكشف الإشارة في أنظمة الراديو الإدراكي باستخدام تقنية الدوري المستقر
Cyclostationary



الشكل(8): تخمين SCD باستخدام خوارزمية FAM

يبين لدينا الشكل (8) المخطط ثلاثي الأبعاد لحساب كثافة الاستطاعة الطيفية لإشارة BPSK حسب خوارزمية SSCA حيث تم اعتماد نفس البارامترات المستخدمة في خوارزمية FAM من اجل المقارنة بين الخوارزمتين ، ونلاحظ الشكل التالي:



الشكل(9): تخمين تابع SCD باستخدام خوارزمية SSCA .

نلاحظ من الشكلين (8) و(9) السابقين بأن كثافة ارتباط الاستطاعة الطيفية باستخدام خوارزمية SSCA تأخذ قيمة أقل بالمقارنة مع خوارزمية FAM وهذا يدل على تحسن

جودة الطيف ومقاومته الأفضل للضجيج باستخدام خوارزمية FAM التي تعتبر أكثر دقة من خوارزمية SSCA التي تتأثر أكثر بتعرضها للضجيج والتخميد خلال إرسال الإشارة عبر قناة الاتصال.

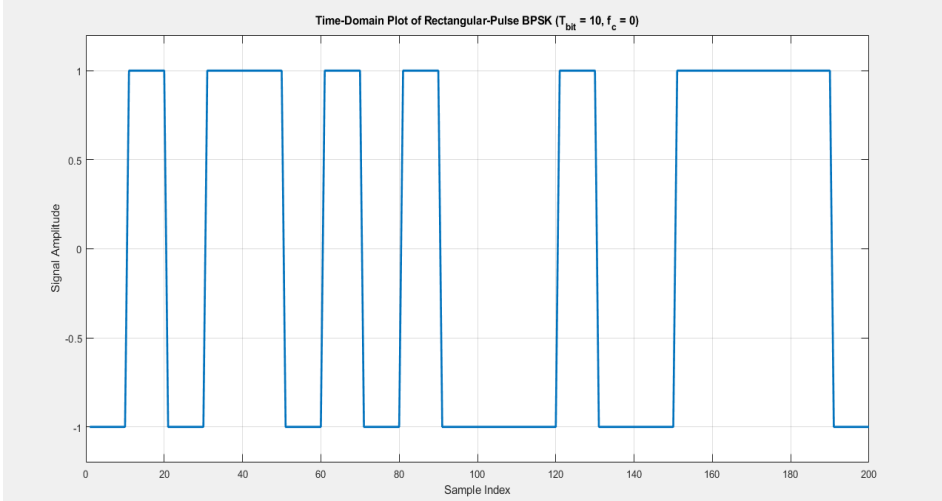
وأيضاً نلاحظ من الشكلين السابقين بأن مجال تردد الطيف في خوارزمية SSCA يكون أكبر منه في خوارزمية FAM وهذه تعتبر سيئة لأنها تستهلك من عرض النطاق الترددي الذي يعتبر مورد ثمين ومحدود.

يبين الشكل (11) تخمين طيف الاستطاعة للنبضة المستطيلة لإشارة BPSK المبينة في الشكل (10) حسب تقنية تحسس الطيف Cyclostationary-FAM والبارامترات المعتمدة في الجدول (4) هي:

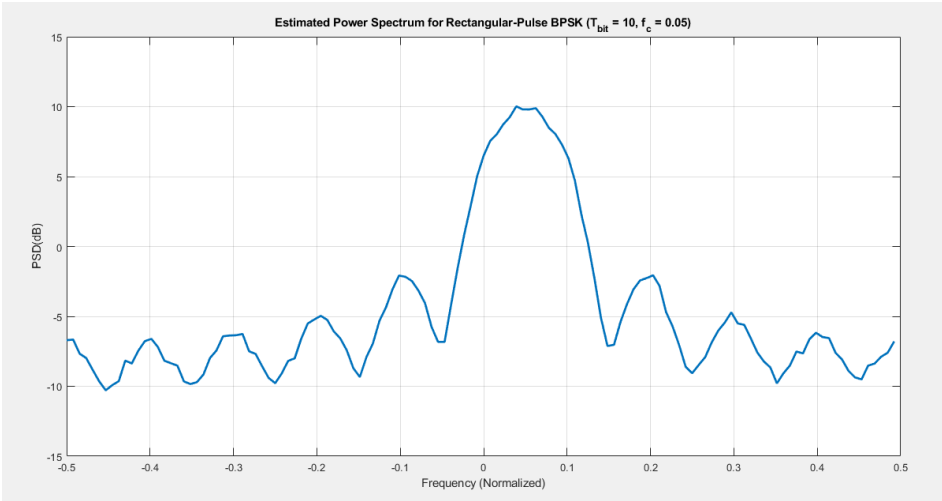
الجدول (4): البارامترات المعتمدة لتخمين طيف الاستطاعة لإشارة BPSK ذات نبضة مستطيلة

$T_{bit}=10s$	زمن البت
num_bits = 4000	عدد البتات في الإشارة المولدة
$f_c = 0.05Hz$	تردد الحامل
$N_0_{dB} = -10.0$	كثافة طيف الضجيج
Power_dB = 0.0	استطاعة الإشارة
$N_{psd} = 128$	عدد الترددات المستخدمة في تخمين PSD

تحسس الطيف وكشف الإشارة في أنظمة الراديو الإدراكي باستخدام تقنية الدوري المستقر
Cyclostationary



الشكل(10): النبضة المستطيلة لإشارة BPSK في المجال الزمني .

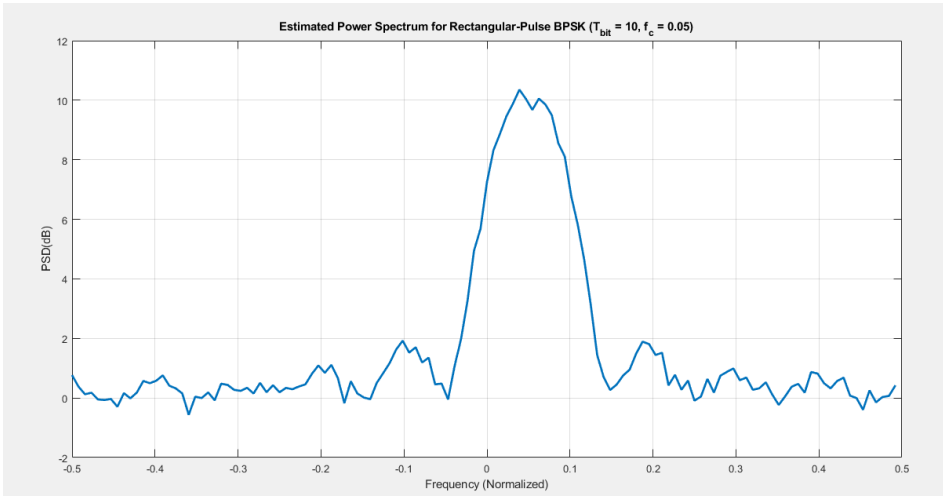


الشكل(11): طيف الاستطاعة المخمن من أجل النبضة المستطيلة لإشارة BPSK من أجل

$$T_{\text{bit}}=10\text{s} , f_c=0.05$$

نلاحظ من الشكلين (10) و (11) بأنه عند تخمين طيف الاستطاعة لإشارة BPSK بأن الإشارة ممكن أن تتعرض لضجيج وتتخادم خلال قناة الاتصال لذلك يتم أخذ قيم مختلفة لاستطاعة الضجيج لمعرفة مدى تأثير الضجيج على الإشارة .

يبين الشكل (12) تخمين طيف الاستطاعة للنبضة المستطيلة لإشارة BPSK نفسها وبنفس البارامترات ولكن مع تغير قيمة استطاعة الضجيج وباعتبارها $N_{0_dB} = 0.0$



الشكل (12): طيف الاستطاعة المخمن من أجل النبضة المستطيلة لإشارة BPSK من أجل

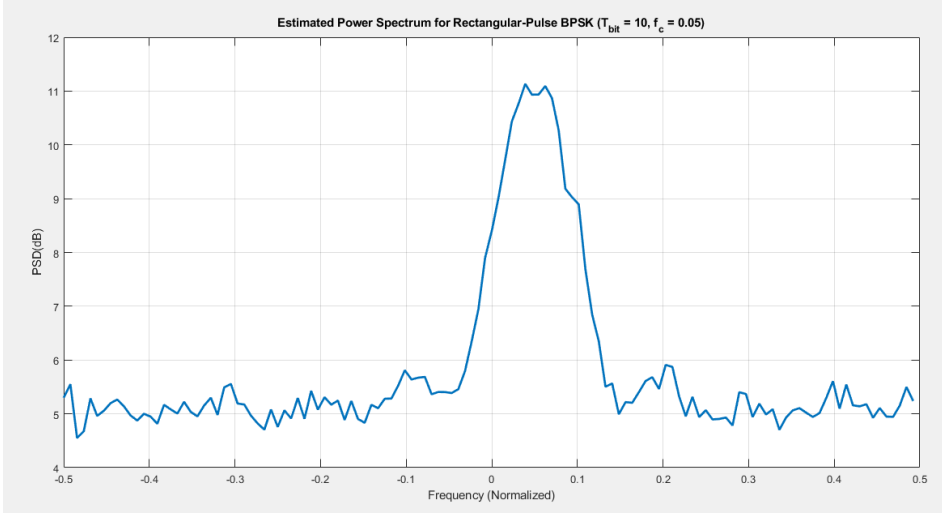
$$T_{bit}=10s, f_c=0.05, N_{0_dB} = 0.0$$

يبين الشكل (13) تخمين طيف الاستطاعة للنبضة المستطيلة لإشارة BPSK نفسها ولكن

$$N_{0_dB} = 5$$

مع تغير قيمة استطاعة الضجيج وباعتبارها

تحسس الطيف وكشف الإشارة في أنظمة الراديو الإدراكي باستخدام تقنية الدوري المستقر
Cyclostationary

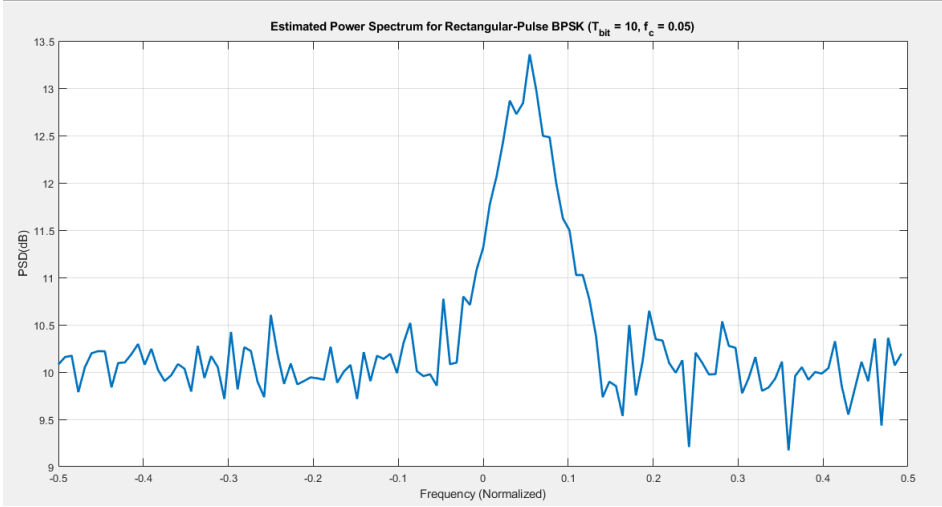


الشكل(13):طيف الاستطاعة المخمن من أجل النبضة المستطيلة لإشارة BPSK من أجل

$$T_{bit}=10 , f_c=0.05, N_0_{dB} = 5$$

يبين الشكل(14) تخمين طيف الاستطاعة للنبضة المستطيلة لإشارة BPSK نفسها ولكن

$$N_0_{dB} = 10 \text{ مع تغير قيمة استطاعة الضجيج وباعتبارها}$$



الشكل(14): طيف الاستطاعة المخمن من أجل النبضة المستطيلة لإشارة BPSK من أجل

$$T_{bit}=10 \text{ s} , f_c=0.05, N_0_{dB} = 10$$

ثامنا - الخلاصة:

نلاحظ من الأشكال (11-12-13-14) بأنه عند أخذ بارامتر استطاعة الضجيج قيم مختلفة ومتزايدة فإن تخمين طيف الاستطاعة يحافظ على كثافة طيفية ثابتة تقريباً مع وجود تشوهات قليلة للإشارة نتيجة تعرضها للضجيج الكبير وهذا يدل هنا على قوة خوارزمية Cyclostationary ومقاومتها الكبيرة للضجيج الذي تتعرض له الإشارة ضمن القناة لذلك هذه التقنية بالرغم من تعقيدها الحسابي تعتبر مناسبة لكشف وتخمين الإشارات التي يتم إرسالها لمسافات طويلة والتي تتعرض لمستويات ضجيج عالية .

وأيضاً نلاحظ من النتائج السابقة بأن خوارزمية FAM تفوقت على خوارزمية SSCA من ناحية حساب كثافة الاستطاعة حيث كثافة الاستطاعة للإشارة تحقق

قيماً أكبر في خوارزمية FAM منها في خوارزمية SSCA وهذا يدل على مقاومة خوارزمية FAM الجيدة للضجيج وبالإضافة بأنها الأكثر دقة من خوارزمية SSCA، بالإضافة إلى أن مجال تردد الطيف في خوارزمية SSCA يكون أكبر منه في خوارزمية FAM وهذا يدل على الاستهلاك الأكبر لعرض النطاق الترددي في خوارزمية SSCA والذي يعتبر سيئاً في مجال تحسس الطيف. ولكن من الدراسات المرجعية والتطبيق العملي على برنامج Matlab أثبتت خوارزمية SSCA تفوقها على خوارزمية FAM من ناحية أنها تحتاج زمن تنفيذ أقل أي إنها الأكثر سرعة وأيضاً الأقل تعقيد حسابي.

إن تقنية استشعار الطيف المستخدمة هنا سيتم العمل على التطورات المستقبلية لها وتقرن مع أساليب الكشف عن الطيف الأخرى مثل التحليل المويجي وغيرها من تقنيات الكشف عن الطيف . وأيضاً يتم العمل في المستقبل على اعتماد تقنية Cyclostationary في شبكات استشعار الطيف التعاونية بالإضافة لشبكات استشعار الطيف الغير تعاونية .

ويتضمن العمل المستقبلي تطوير خوارزمية FAM إتباعها نهج جديد في مبدأ العمل من ناحية تقليل التعقيد الحسابي و زمن تنفيذ استشعار مجال الطيف المراد الاستفادة منه من قبل المستخدمين الثانويين مع الحفاظ على خصوصية المستخدمين الأساسيين والأفضلية لهم .

تاسعا-المراجع References:

- [1]Li Jingyi Carol et al(2022)" Fixed-Point FPGA Implementation of the FFT Accumulation Method for Real-time Cyclostationary Analysis",Association for Computing Machinery(ACM).<https://doi.org/10.1145/3567429>.
- [2]Li Xiangwei et al(2022)" A Scalable Systolic Accelerator for Estimation of the Spectral Correlation Density Function and its FPGA Implementation" Association for Computing Machinery(ACM).<https://doi.org/10.1145/3546181>.
- [3]Emeshi Lio.Joseph et al(2020)" Using Covariance Matrix and Fast Fourier Transform for Estimating Spectrum Hole Location in Cognitive Radio Network" ,International Journal of Communications,ISSN:2367 8887, VOL.5. <http://www.iaras.org/iaras/journals/ijoc>.
- [4]Prajwal patil et al (2020)" Enhanced spectrum sensing based on Cyclostationary Feature Detection (CFD) in cognitive radio network using Fixed & Dynamic Thresholds Levels",Saudi J Eng Technol, ISSN 2415-6272 ,pp.271-277.
- [5]Eappen Georey et al(2020)" A Survey on Soft Computing Techniques for Spectrum Sensing in a Cognitive Radio Network", SN Computer Science, DOI/10.1007/s42979-020-00372-z,p:1:352.
- [6]George.G.R,Prema.S.C.(2019)."Cyclostationary Feature Detection Based Blind Approach For Spectrum Sensing and Classification", Radio Engineering,Vol.28,no.1,p298-303.
- [7]Kumar,Arun , et al .(2019). "OFDM System With Cyclostationary Feature Detection Spectrum Sensing" .ICT Express . 5(2019),p21-25 .
- [8]Devasis, P., & Priyanka, K.C. (2019). "Effectiveness of Spectrum Sensing in Cognitive Radio toward 5G Technology", Saudi Journal of Engineering and Technology", Dec. 4(12): 473-785.
- [9]Spooner Chad (2018)" CSP Estimators: The FFT Accumulation Method" Cyclostationary Signal Processing. <https://cyclostationary.blog>.
- [10]Khoshkhoo, Milad,et al.(2017)." Blind Estimation of Frequency Features from Telecommunication Signals Using Modified Time Smoothing Algorithm" Iranian Conference on Communications Engineering (ICCE 2017) Shahid Rajaei University, Tehran, Iran, 23-24 February 2017.
- [11]Singh , Kanwaljeet , et al . (2015) ." Study Of Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio : A Survey" , International Journal Of Soft Computing and Engineering (IJSCE) , ISSN : 2231-2307 ., Vol . 5 ,p97-100 .
- [12]Mishra , Jayanta , et al .(2014) . " Cyclostationary Based Spectrum Sensing In Cognitive Radio : Windowing Approach" , International Journal Of Recent Technology and Engineering (IJRTE) , ISSN : 2277- 3878. , Vol . 3 ,p95 -100.

- [13]Dimc franc, et al(2014).” Experimental detection of mobile satellite transmissions with cyclostationary features” Int. J. Satell. Commun. Network. DOI: 10.1002/sat.1081.
- [14]Vadivelu.R. (2012). ” Implementation of Modified Time – Smoothing Algorithms and Its Comparative Analysis in Spectrum Sensing”, ISSN 1450-216X Vol.80 No.2 , pp.237-243
- [15]Subhedar, Mansi ,et al.(2011).” SPECTRUM SENSING TECHNIQUES IN COGNITIVE RADIO NETWORKS: A SURVEY” International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN) ,Vol.3, No.2, June 2011.
- [16]Castro , Marco E . (2011) ” Cyclostationary Detection For OFDM in Cognitive Radio System ” .Electrical Engineering Thesis and Dissertations .Paper 21 .
- [17]Subhedar, M.& Birajdar, G. (2011).”Spectrum sensing techniques in cognitive radio networks: A survey” International Journal of Next Generation Networks, 3(2), 37-51.
- [18]Tani, A., & Fantacci, R. (2010). ”A low-complexity cyclostationary-based spectrum sensing for UWB and WiMAX coexistence with noise uncertainty”. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 59(6), 2940-2950.
- [19]Hu , Hao . (2009) ” Cyclostationary Approach to Signal Detection and Classification in Cognitive Radio System “ , Beijing University of Posts and Telecommunications , P . R . China , p 52 – 76.
- [20]Mekkanen , Mike . (2009) .” Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio : Cyclostationary Method ” .Master s Thesis of Science in Technology.
- [21] Rateb , Ahmad M . (2008) .” Introduction to Cognitive Radio System ” , Departement of Telematics Optical Engineering Faculty Of Electrical Engineering.
- [22]Arslan Huseyin and Tefvic Yucek (2007). ”Spectrum Sensing for Cognitive Radio Applications”. Netherlands: Springer. ISBN 978-1-4020-5541-6., p263-289 .
- [23]Haykin, S. (2005).”Cognitive radio: brain empowered wireless communications”. IEEE journal on selected areas in communications, 23(2), 201-220.