مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (5) العدد(4) 2021

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (5) No. (4) 2021

تحسين أداء الرادیو المعرفي باستخدام تقنية التعديل بالمرشحات الحزمية

د.م. فادي غصنة*

(تاريخ الإيداع 11 /4 /2021 . قُبِل للنشر في 9 /6 /2021)

□ ملخّص □

مرَّت الاتصالات اللاسلكية بثورة حقيقية مع التطورات السريعة التي طرأت على هذه التكنولوجيا، ولكي يدخل مستخدم أو تطبيق معيّن على شبكة الاتصالات، يجب أن يحجز حزمة طيف ترددي محددة، وتعد هذه الحزمة الترددية تعتبر مورد محدوداً من موارد الشبكة اللاسلكية والتي لا يمكن زيادتها أو التوسع فيها بسبب محدودية هذه الموارد، لذلك لابد من تطبيق نظام اتصالات ذكي وقابل للتكيف والتعديل بحيث يستطيع تحقيق متطلبات المستخدم النهائي على عكس أنظمة الاتصال التقليدية التي تخصص قيمة ثابتة من الموارد للمستخدم.

ظهرت تقنية الراديو المعرفي (Cognitive Radio CR) انطلاقاً من الراديو المعرَّف برمجيّاً (Software Defined Radio) الذي يعد فيه التردد، الاستطاعة، وتقنيات التعديل هي المتغيرات الأساسية التي تحظى بالاهتمام الأكبر، ويتلخّص عمل الراديو المعرفي في التحكم في هذه المتغيرات وتبديلها تبعاً للظروف الموجودة في كل موقع، وتعد عملية استشعار الطّيف عمليّة مهمة لتحديد مدى توافر القنوات الشاغرة التي سيتم استخدامها من قِبَل المستخدمين الثانويين دون إحداث أي تداخل ضار بالمستخدمين الرئيسيين، وفي الاتصالات متعددة الحوامل التي تستخدم تقنيات المعالجة الرقميّة للإشارة فإن تقنية التعديل بالمرشحات الحزميّة (Filter Bank Multi Carrier) تتفوق على غيرها من تقنيات التعديل متعددة الحوامل من ناحية عرض الحزمة والكفاءة الطيفيّة، ونتعاطى في هذه الورقة البحثية مع منهجية ترشيح الاستيفاء في الطبقة الفيزيائية للراديو المعرفيّ عبر بيئة قناة ثنائية متماثلة متخامدة.

الكلمات المفتاحية: تقنية الراديو المعرفي، قناة ثنائية متماثلة متخامدة، المرشحات الحزمية الرقمية، انخفاض استخدام الطيف الترددي.

*أستاذ مساعد في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات، كليّة هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، جامعة طرطوس، سوريا

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (5) العدد(4) 2021

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (5) No. (4) 2021

Enhancing Cognitive Radio Technique by using Filter Banks Modulation

***Dr.Eng.Fadi Ghosna**

(Received 11/ 4/ 2021 . Accepted 9 / 6/ 2021)

□ ABSTRACT □

The wireless communication has undergone a revolution due to advancements in technology. For each new user or application to be a part of communication network the preliminary requirement is the allocation of frequency spectrum band. This frequency band is a limited resource and it is impossible to expand its boundaries. So the need is to employ intelligent, adaptive and reconfigurable communication systems which can investigate the requirements of the end user and assign the requisite resources in contrast to the traditional communication systems which allocate a fixed amount of resource to the user under.

Cognitive Radio(CR) Technology has emerged from software defined radios wherein the key parameters of interest are frequency, power and modulation technique adopted. The role of Cognitive Radio is to alter these parameters under ubiquitous situations. The Spectrum Sensing is an important task to determine the availability of the vacant channels to be utilised by the secondary users without posing any harmful interference to the primary users. In Multicarrier Communication using Digital Signal Processing Techniques, Filter Bank Multi Carrier has an edge over other technologies in terms of Bandwidth and Spectral Efficiency. The present paper deals with the Interpolation Filter approach for physical layer of Cognitive Radio under Binary Symmetric fading channel environment.

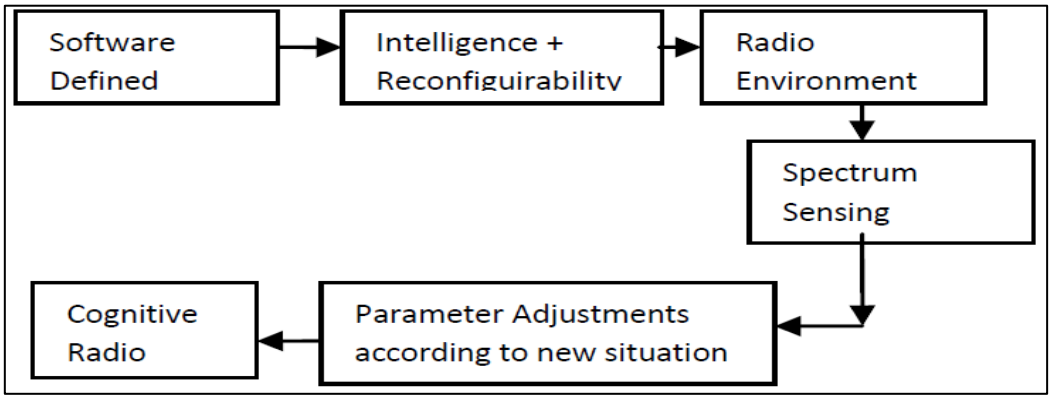
Key words: Cognitive Radio (CR), Binary Symmetric Radio Fading Channel, Digital Filter Banks, Spectrum underutilization.

* Assistant Professor in Department of Communications Technology Engineering, Faculty of Information & Communication Technology Engineering, Tartous University, Syria

مقدمة:

تزداد حاجة المستخدمين لمعدلات نقل بيانات أعلى يوماً بعد يوم لتلبية متطلباتهم في الوصول إلى شبكة الانترنت في أي مكان وفي أي وقت ضمن بيئة راديوية، وعلى الرغم من أن الطيف الراديوي المتوفر محدود، فإنَّه يعد مورداً نادراً وضرورياً جداً في الاتصالات الراديوية[1,2]، ويتم استخدامه من قبل الكثير من التقنيات الحديثة التي تدخل في جميع مناحي حياتنا اليوميّة.

إن التردد الراديوي، عرض الحزمة، وتقنية التعديل المستخدمة كلها متغيرات تؤثر في أداء عمل أي نظام اتصالات لاسلكي وخاصة في نظم اتصالات الجيل الرابع 4G، وهنالك مناطق واسعة تحتوي تطبيقات حيوية كتطبيقات الدفاع والسلامة العامة والطوارئ تحتاج سرعة في تراسل البيانات كما في شبكة الجيل الرابع[4][3]، ومن أجل تحقيق أعلى كفاءة طيفية في نظام الاتصالات، توجد خاصيتان فيزيائيتان تلعبان دوراً حاسماً في المجال اللاسلكي، الاتصال الفعال بين محطتين تعملان على نفس التردد ووجود تداخل بين محطتين تعملان في نفس المنطقة الجغرافية مما يؤدي إلى حدوث تدهور في جودة الاتصال فيما بينهما[5][4]، وتم ابتكار الراديو المعرفي الذي يتملك ميزة الذكاء الصنعي مع قدرته على اتخاذ القرار الذي تشكِّل حلاً فريداً لمشكلة قلة استخدام الطيف الترددي، حيث يمتلك الراديو المعرفي CR القدرة على تحسس البيئة المحيطة بالمحطة الراديوية وتغيير البارامترات الفيزيائية للمحطة تبعاً للمتغيرات الموجودة بعد إعادة الضبط على البارامترات الجديدة [1]، ويبين الشكل (1) تطور تقنية الراديو المعرفي.



الشكل(1) تطور تقنية الراديو المعرفي.

هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحسين كفاءة الطيف الترددي من خلال تقنية الراديو المعرفي، حيث أنه توجد أجزاء كثير من الطيف الترددي لم يجري استغلالها بالشكل الأمثل، في حين أن العدد المتزايد من تطبيقات الوسائط المتعددة العاملة على الشبكة اللاسلكية يؤدي إلى ندرة الطيف الشاغر حيث يعد الراديو المعرفي خياراً جيداً لاستخدام الأجزاء غير المستخدمة من الطيف الترددي التي تم تخصيصها فعليّاً للخدمات الأساسية، حيث تعتمد العديد من خدمات الطوارئ اليوم على استخدام الشبكات العامة التي يتم تحميلها فوق طاقتها وهذا يشكل خياراً غير عملي لخدمات الطوارئ لذلك تبرز أهمية الراديو المعرفي في تأمين طيف ترددي لهذه الخدمات في الشبكات العامة، واستخدام التعديل بالمرشحات الحزمية ضمن الطبقة الفيزيائية للشبكة اللاسلكية من المتوقع أن يحسن من كفاءة استخدام الطيف الترددي لأنه لا يحتاج إلى حزم حماية فارغة كما هو الحال في بقية التعديلات متعددة الحوامل.

طرائق البحث ومواده:

أولاً–الدراسات المرجعية:

❖ **معالجة الإشارة الرقمية في الراديو المعرفي CR:**

قدّم الباحث M.Laddomada (2011) منهجية متعددة المراحل من أجل استعادة الإشارة المرسلة لنظام الملاحة العالمية عبر الأقمار الصناعية، حيث تم استخدام اثنين أو أكثر من حزم الواجهة الأمامية Front end Bands ذات النطاق الضيق لتجميع الأجزاء المختلفة من طيف إشارة الملاحة عريضة النطاق التي أعيد بناؤها بعد ذلك انطلاقاً من مكونات من حزمها الفرعية[6]، فيما قام Mohamed Hamid (2010)وآخرون بالتحقيق في مخططات استشعار طبقة MAC في الراديو المعرفي CR وتظهر نتائج المحاكاة أنه لضمان أقل تأخير في البحث عن قناة خاملة قدر الإمكان فإن الاستشعار الاستباقي هو أفضل منهج يمكن استخدامه واتباعه [7]، في حين قام الباحث Ziyang Ju (2009), وآخرون بتطوير طريقة لتوصيف القناة ذات التشتت المضاعف باستخدام تقنية المرشحات الحزمية [8]، أما الباحث H. Zhang (2009), فقد درس سعة القناة مع تقنية الراديو المعرفي باستخدام التعديل الترددي المتعامد OFDM والتعديل بالمرشحات الحزمية، مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير خوارزميات تخصيص الموارد resource allocation algorithms والتداخل بين الخلايا وتخامد رايلي، وأظهرت النتائج النهائية أن التعديل بالمرشحات الحزمية يحقق سعة قناة أكبر من التعديل الترددي المتعامد بسبب انخفاض التسرب الطيفي لمرشح النموذج الأولي الخاص به[9].

❖ **دور المرشحات الحزمية في الاتصالات متعددة الحوامل:**

نحتاج في أنظمة الاتصالات الرقمية إلى معالج إشارة رقمي متعدد المراحل والتي نكون فيها بحاجة إلى أكثر من معدل اخذ عينات Sampling rate واحد، وتتجلى قابلية تطبيق معالجة الإشارة متعددة المراحل في مجالات الاتصالات ومعالجة الصوت وأنظمة الرادار، وتعتمد التقنيات المتقدمة على استخدام مرشحات رقمية لدقتها العالية، والمرشحات الحزمية تعتمد على استخدام مرشحات رقمية أيضاً، وتأتي تقنية التعديل بالمرشحات الحزمية FBMC لتحل مشكلة حزم الحماية الفارغة Cycle prefix التي توجد في بعض أنظمة التعديل متعددة الحوامل مثل التعديل الترددي المتعامد OFDM[10,11]، حيث أنها لا تستخدم حزم حماية بل يتم ترشيح كل حامل فرعي subcarrier بمفرده [10,12]، وبالتالي تقدم فعالية طيفية أفضل من الفعالية الطيفية التي يقدمها التعديل الترددي المتعامد [4,5].

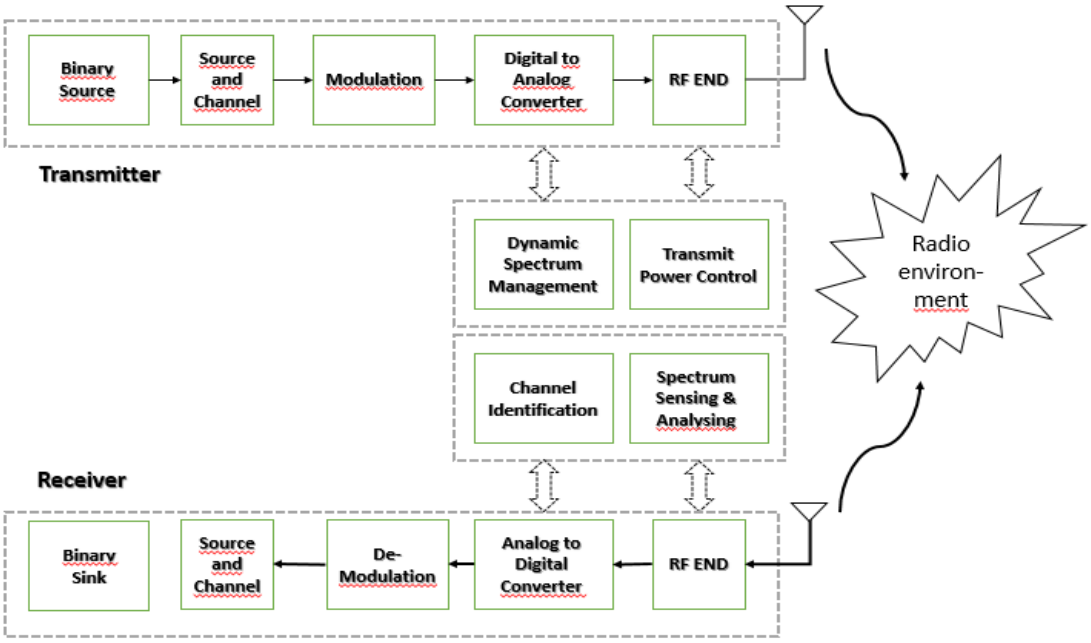
ثانياً– وظائف الراديو المعرفي Functions of cognitive radio:

تعد الوظائف التالية مهمة جداً من أجل تشغيل الميزات الأساسية للراديو المعرفي، كالمرونة، والاستشعار، والقدرة على التكيف، وبشكل رئيسي فإن الراديو المعرفي يؤدي الوظائف التالية:

– استشعار الطيف الترددي: حيث يقوم بتحديد حالة الطيف الترددي ويكشف وجود المستخدمين الأساسيين.

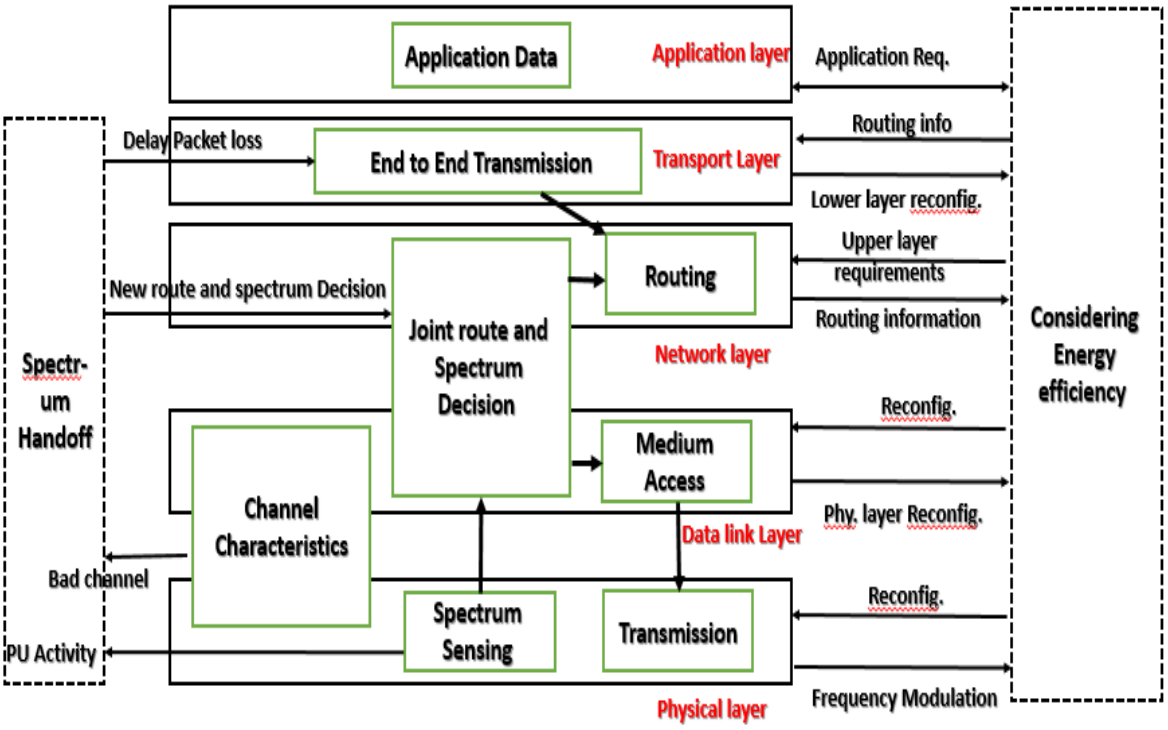
– إدارة الطيف الترددي: وهي عملية تخصيص الطيف الترددي المتاح للمستخدمين الثانويين غير المسجَّلين بعد على الشبكة.

- تقاسم الطيف الترددي: وهي عملية مشاركة الموارد مع المستخدمين الثانويين.
- حركية الطيف الترددي: فمتى أراد المستخدم الأساسي استخدام القناة التي يشغلها المستخدم الثانوي، فأن المستخدم الثانوي يقوم بإخلاء هذه القناة على الفور للمستخدم الأساسي[13,14]، وينتقل إلى قناة أخرى شاغرة متوفرة. ويوضح الشكل (2) المخطط الصندوقي لعمليات الراديو المعرفي.



الشكل (2) عمليات الراديو المعرفي.

ويبين الشكل (3) نموذج OSI للراديو المعرفي حيث تعتبر القناة المتماثلة الثنائية قناة شائعة الاستخدام في نظرية المعلومات والترميز[16,17]، وفي هذا النموذج نفترض أن المرسل يريد إرسال بت معين (صفر أو واحد منطقي) وسيقوم المرسل باستقبال بت، مع وجود احتمال في تغير البت من الصفر إلى الواحد أو بالعكس بعد استقبالها في جهة المستقبِل، وتستخدم هذه القناة بشكل شائع في نظرية المعلومات لأنها سهلة التحليل والتي تقبل دخل ثنائي، باحتمالية تبديل الدخل بمقدار P=1/2، وهذا النموذج من القنوات جيد في الاتصالات الفضائية أما في الاتصالات الأرضية فهو سيئ جداً نظراً لوجود احتمالية كبيرة في تغير البت وحدوث خطأ في عملية الإرسال.



الشكل (3) نموذج OSI للراديو المعرفي CR.

ثالثاً مشكلة البحث:

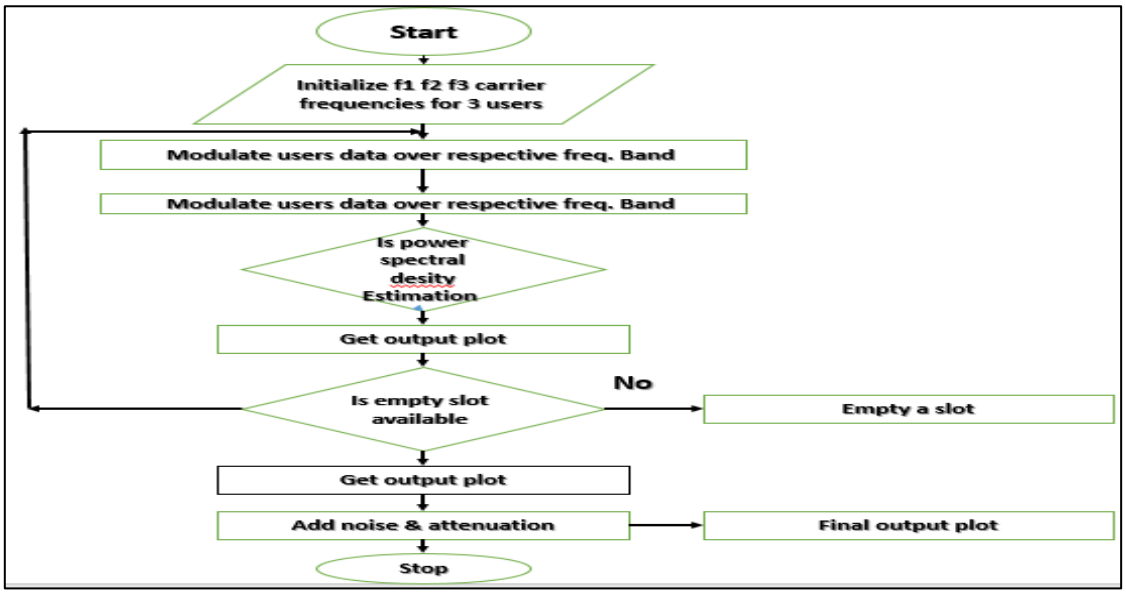
تكمن الفكرة وراء تطبيق تقنية الراديو المعرفي على شبكة طوارئ تستخدم البنية التحتية للشبكة العامة هي للتخفيف من النقص الحاد في الطيف الترددي عن طريق الوصول الديناميكي إلى موارد الطيف الحر (الفارغ)، وتستطيع تقنية الراديو المعرفي العمل في جميع أنواع الشبكات ونطاقات التردد والقنوات اللاسلكية المختلفة وتدعم كافة أنواع تطبيقات الوسائط المتعددة ونقل البيانات[20]، وتم اقتراح معمارية راديوية قابلة للتعديل لتقنية الراديو المعرفي يمكن إعادة تشكيلها والعديل عليها لتمكين قابلية التطوير من البرامج التقليدية للشبكة اللاسلكية إلى راديو معرفي، ومن خلال الراديو المعرفي يمكننا الكشف حتى عن التسريب في المذبذب المحلي (LO) والابلاغ عن القنوات المستخدمة وغير المستخدمة.

إن كفاءة البنية المقترحة وفعالية عملها تفترض إمكانية المقارنة بين مستقبلات متعددة سلبية Passive receivers، لذلك فإن الكشف عن أجهزة الاستقبال الأولية هو الخطوة الأولى في تحديد المشكلة بالنسبة للراديو المعرفي، وقمنا في دراستنا بالتركيز على تقنية راديو معرفي مبني على طبقة فيزيائية تحتوي مرشحات حزمية FBMC، لتحسين الكفاءة الطيفية وتقليل الأجزاء الطيفية غير المستخدمة إلى جانب تخفيض استهلاك الطاقة وتخفيض معدل خطأ البت BER فعند ذلك يمكننا الحديث عن تحسين أداء الراديو المعرفي المبني على أساس المرشحات الحزمية[18].

رابعاً تحليل الأداء:

نقوم بتهيئة حوامل ترددات Carrier Frequencies لثلاثة مستخدمين بتردد أخذ عينات مناسب لتقنية التعديل المستخدمة لتعديل بيانات المستخدمين وفق حزم ترددية خاصة، وتتم إضافة كل الإشارات الناتجة التي تم تعديلها لتشكيل إشارة الحامل Carrier Signal، ثم نحصل على المخطط الطيفي للإشارة الناتجة لتقدير

طيف كثافة الطاقة للإشارة، ثم يتم تجميع الخانات الفارغة (الفراغات الترددية) كما سيكون واضحاً في مخطط الخرج، وعند اتصال مستخدم جديد بالشبكة يتم تخصيصه بأول فراغ طيفي تم تحديده، وفي حال كانت كل الفراغات الطيفية التي تم تعيينها محجوزة، عندها يتم حجز حزمة طيفية جديدة للمستخدم، وإذا تم تخصيص المستخدم الجديد بأحد الفراغات الطيفية التي تم تحديدها، نقوم بإضافة نسبة محددة من الضجيج إلى الفراغ الطيفي الذي سيأخذه المستخدم الجديد، وذلك بهدف تحليل نسبة التخامد Attenuation المطلوبة في النهاية. ويمكن تكرار هذه العملية عدة مرات باستخدام فراغات طيفية مختلفة لمستخدمين مختلفين وبنسب مختلفة من الضجيج التي يمكن إضافتها للحصول على التباينات في مخططات خرج توزيع الطاقة، ويبين الشكل (4) المخطط الانسيابي لخوارزمية العمل المقترَحة.

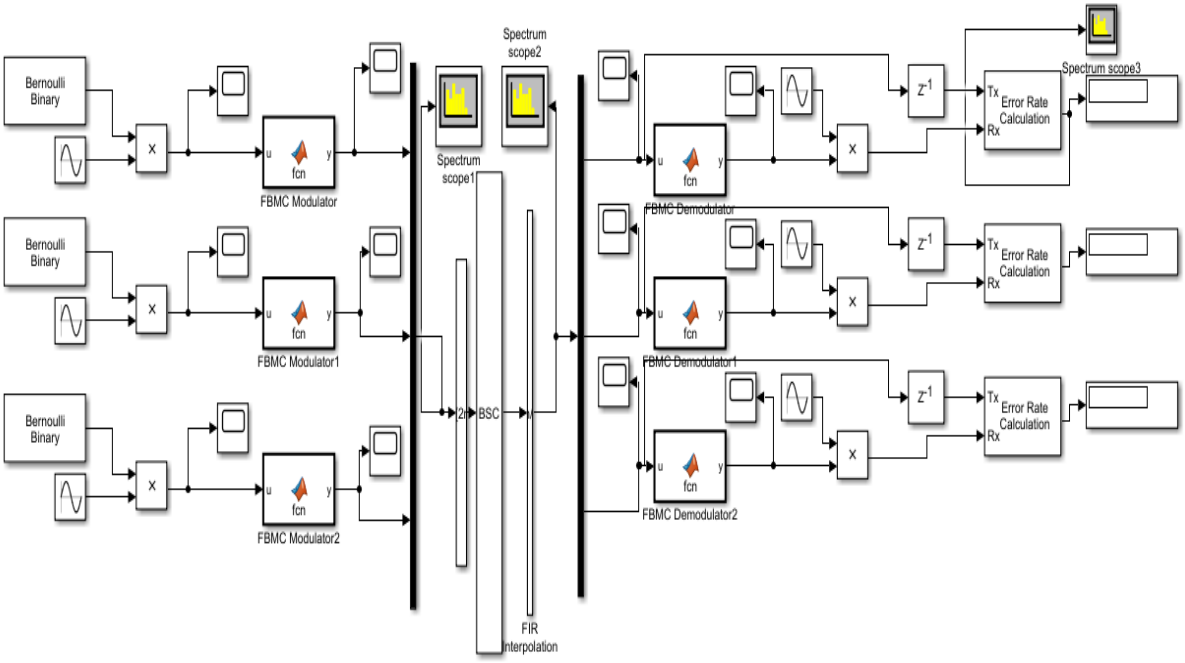


الشكل (4) المخطط الانسيابي لعملية المحاكاة

خامساً نموذج المحاكاة:

تم إجراء هذه المحاكاة على برنامج Matalb Simulink 2019a، نظراً للإمكانيات الكبيرة التي يقدمها البرنامج ضمن هذا المجال والقدرة على بناء النظام المقترح بالشكل الأمثل وبالطريقة التي توضح مختلف جوانب المنظومة المقترحة ومراحل تطبيقها والمتغيرات التي يجري العمل على تطبيقها، ويتم تطبيق نموذج الراديو المعرفي مع القناة الثنائية المتماثلة، وتم اختيار كل البارامترات ضمن كل بلوك من بلوكات النظام بهدف إحداث التأثيرات المطلوبة.

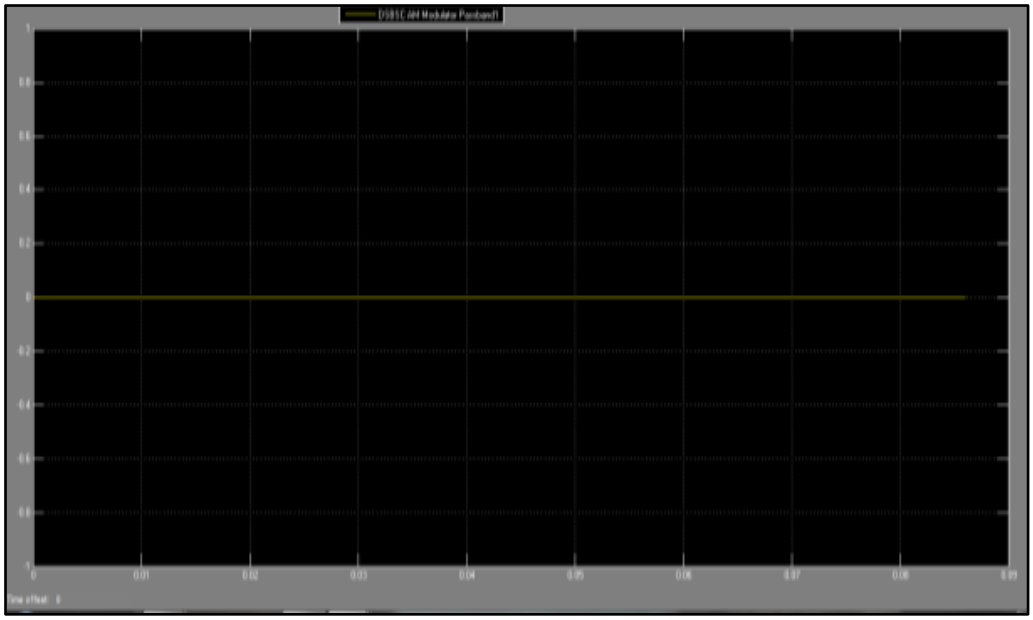
وتم تصميم بلوكات متعددة المستويات لتصميم النموذج المطلوب، وقمنا باختيار المرشحات الحزمية المناسبة والخاصة بالنظام قبل وبعد القناة الثنائية المتماثلة، وتم توليد الكود المناسب لدارسة الراديو المعرفي في برنامج Matlab 2019a ويبين الشكل (5) نموذج المحاكاة الذي قمنا بتصميمه.



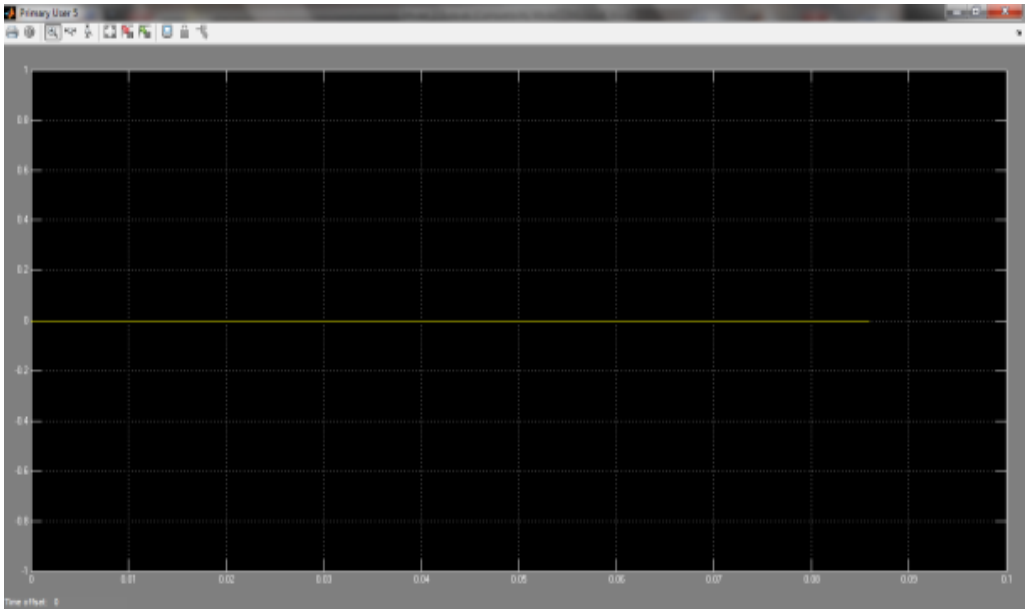
الشكل(5) نموذج المحاكاة في Matlab Simulink

النتائج والمناقشة:

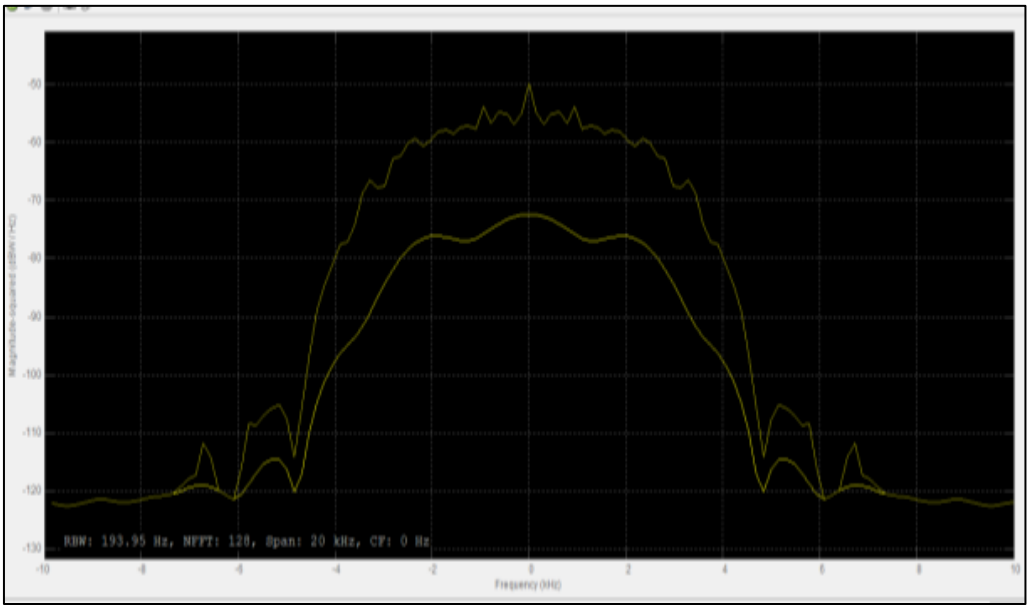
تم تشغيل نموذج المحاكاة وفق عدة تكرارات وإظهار الخرج لثلاثة مستخدمين أساسيين كمُدخَلات وثلاثة مستخدمين كمخرجات جنباً إلى جنب مع مستخدمين ثانويين مع شاشات عرض للخرج scope displays والتي تصوّر بوضوح الانتشار الحاد لنبضة سبايك كدخل ناتج عن ضرب إشارة مولد برنولي الثنائي مع موجة جيبية، ثم يتم تمرير إشارات المستخدم الأساسي إلى معدل FBMC modulator والذي يمر خرجه إلى ضارب Multiplexer وموزع Demultiplexer، وبينهما يوجد بيئة راديو معرفي مكونة من قناة ثنائية متماثلة مع أجهزة معالجة إشارة قبل وبعد القناة مكونة من مرشحات FIR Decimation و مرشحات FIR Interpolation. تم إضافة بلوك تأخير Delay زمني من أجل حساب معدل خطأ البت بين المرسل والمستقبل، وبشكل عام يتم حساب معدل خطأ البت لإظهار تأثير التخامد والأمور التقنية الأخرى، وتكون نتائج المحاكاة كما في الأشكال الآتية.



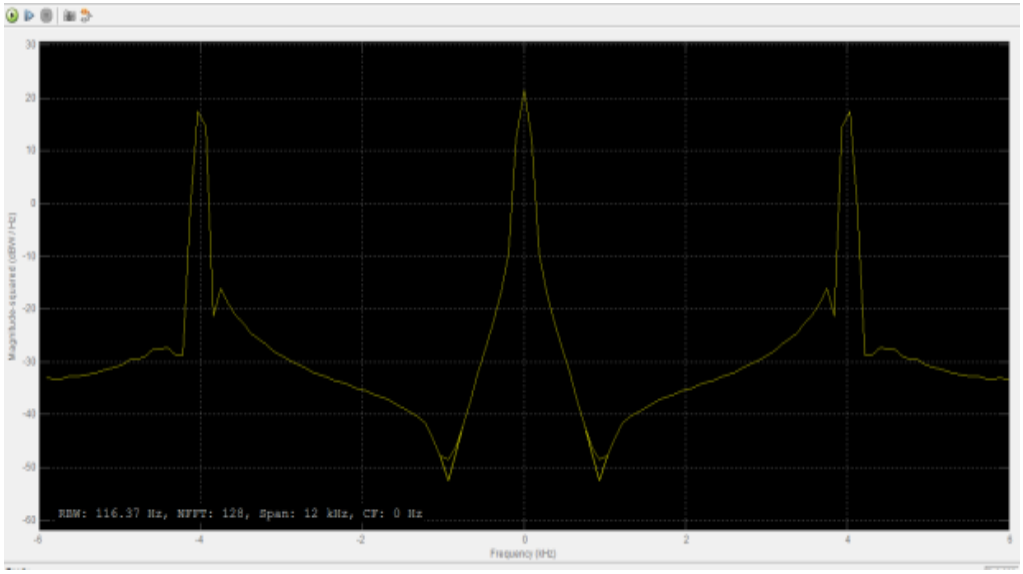
الشكل(6) إشارة المستخدم الأساسي الأول User1



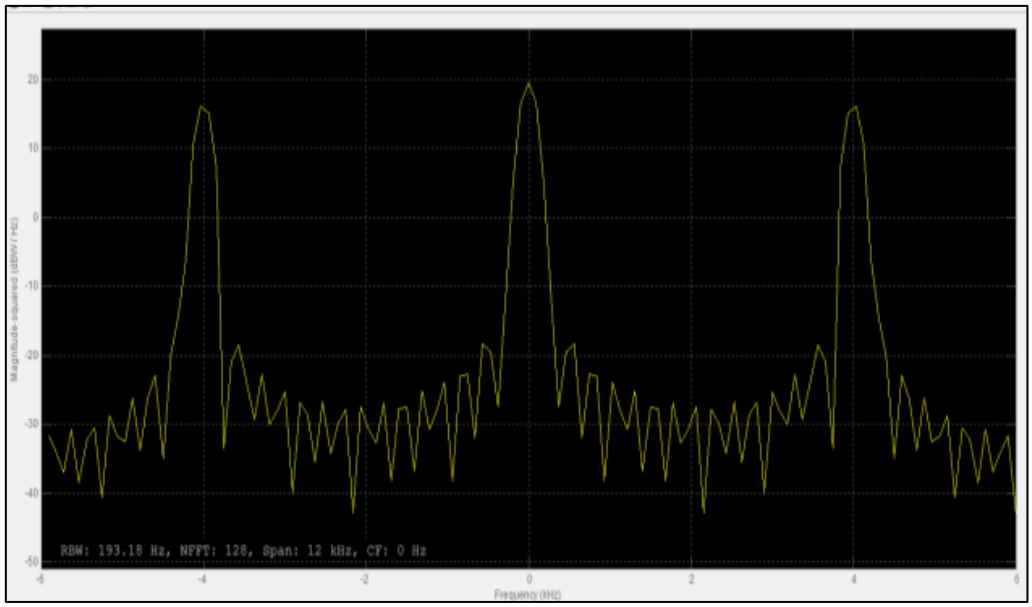
الشكل(7) إشارة المستخدم الأساسي الثالث User3



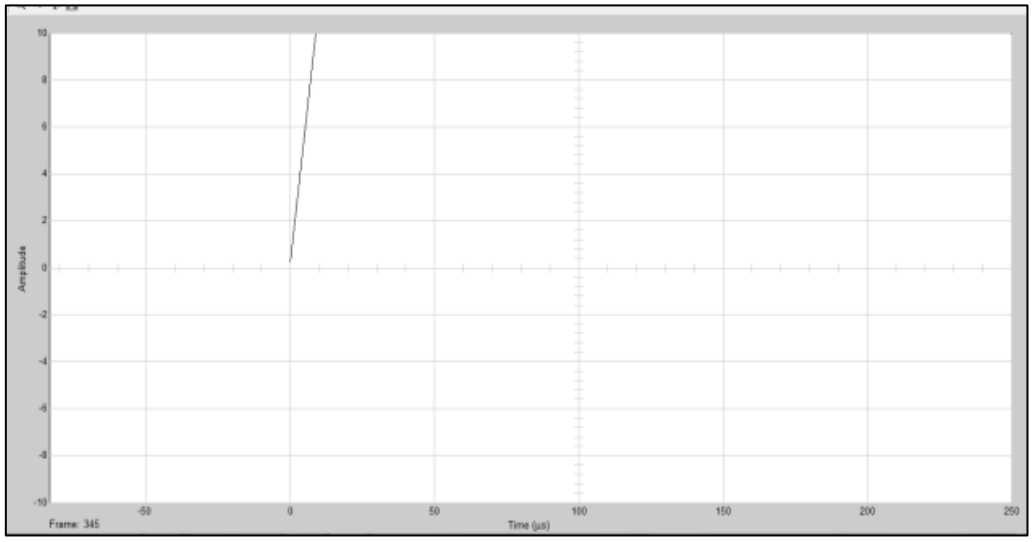
الشكل (8) إشارة المرسل النهائية قبل دخولها القناة



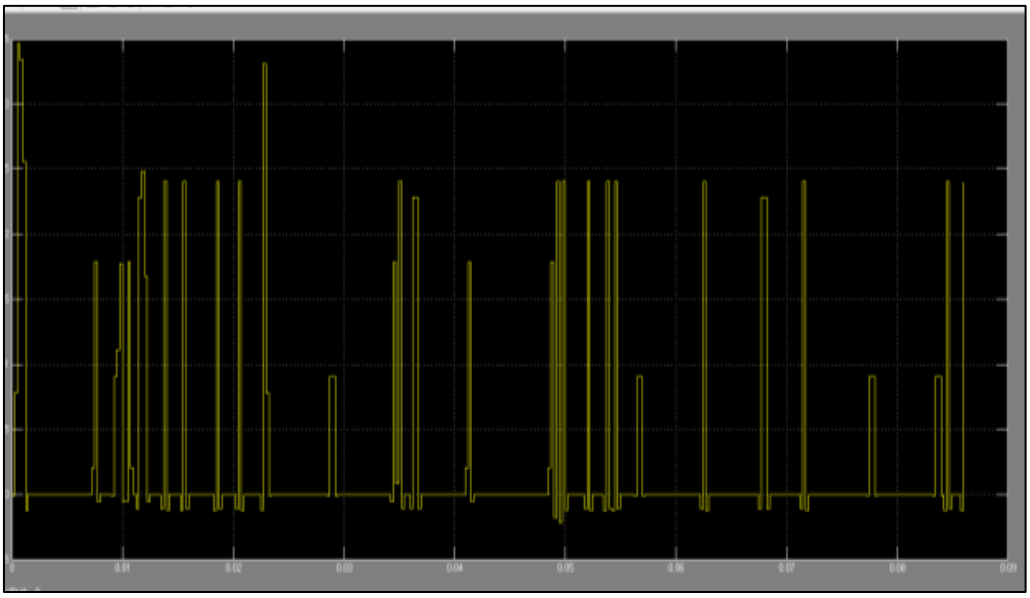
الشكل (9) الإشارة المرسلة بعد مرورها بالقناة الثنائية المتماثلة



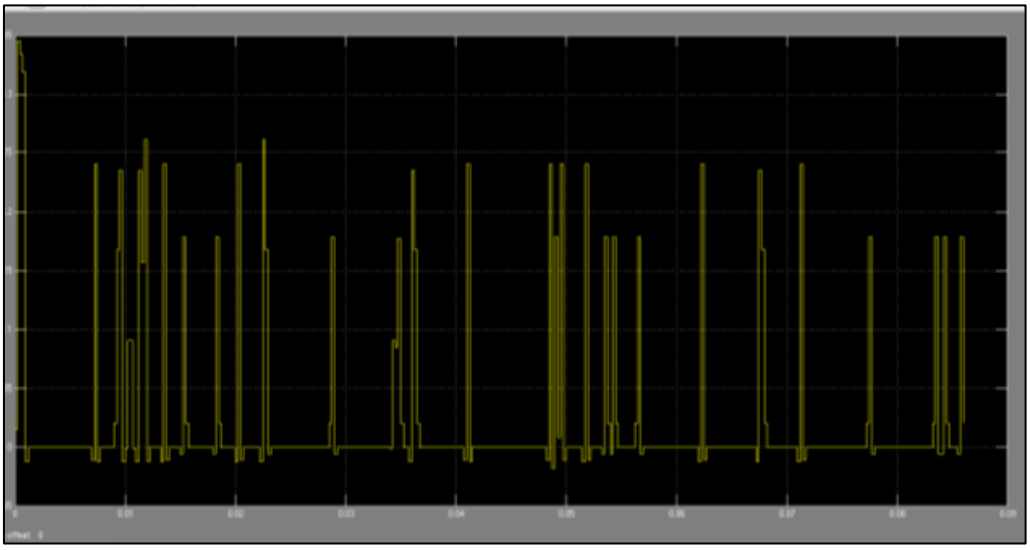
الشكل (10) الخرج على مقياس الطيف Scope display 3



الشكل (11) شاشة عرض نطاق عامل المطال بالنسبة للزمن



الشكل (12) إشارة الخرج للمستخدم الثانوي الأول.



الشكل (13) إشارة الخرج للمستخدم الثانوي الثالث.

الاستنتاجات والتوصيات المستقبلية:

تظهر الدراسة الحالية التي قمنا فيها بمحاكاة نظام راديو معرفي بوجود المرشحات الحزمية في الطبقة الفيزيائية، والتي كان الغرض منها تقييم ديناميكية الطيف في زمن التشغيل، تم استخدام مقياس الديسيبل التربيعي بالنسبة للتردد (dbW/Hz) في مرحلتين: قبل الفقد وبعد الاستيفاء، وتظهر النتائج في تلك المرحلتين أن هناك العديد من أماكن الطيف الترددي معرضة لأن تصبح غير مستخدمة وفارغة من الإشارات، فيما تظهر بقية شاشات عرض الخرج Scope displays الطيف الترددي مع بعض القمم الترددية فقط فيما يكون باقي الطيف الترددي لإشارة الخرج فارغاً، وبالتالي يظهر جلياً انخفاض استخدام الطيف الترددي underutilization spectrum (ثقوب في الطيف يمكن استخدامها من قبل مستخدمين ثانويين)، وتم حساب معدل خطأ البت

BER=0.2788 والذي يعد مقياساً ارشادياً جيداً للكشف عن أقل تسريب (ضياع) للطيف الترددي ضمن المكونات الترددي أثناء عبوره للقناة الترددية ، وبالتالي نستنتج إمكانية الاستفادة من عرض حزمة الطيف بشكل أكبر باستخدام الراديو المعرفي مع وجود مرشحات حزمية ضمن الطبقة الفيزيائية.

المراجع:

[1] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive Radios: Making Software Radios More Personal", *IEEE Personal. Communication.,* Vol. 6, no. 4, pp. 13-18, August 1999.

[2] S.Haykin, "Cognitive Radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 23, pp. 201–220, Feb. 2005.

[3] I. F. Akyildiz, W.Y.Lee etal., "Next Generation / Dynamic Spectrum Access / Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey", *Elsevier, Computer Networks 50(2006),*Vol.50,no.13,pp. 2127-2159, 2006.

[4] William Krenik etal., "Cognitive Radio Techniques for wide areanetworks", *ConferenceProceedings,Texas Instruments,*Dallas,USA,pp.409-412,2009.

[5] H.Zhang etal.",Spectral Efficiency Analysis in OFDM and OFDM /OQAM based Cognitive Radio Networks,"IEEE 69th Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring,pp.1-5,2009.

[6] M. Laddomadaet al., "Advanced Technique on Multirate Signal Processing for Digital Information Processing,"*IET Signal Processing***,**Vol.5, no. 3, pp. 313–315,2011.

[7] Mohammed,Hamid etal.,"On spectrum sharing and Dynamic Spectrum Allocation: MAC layer spectrum sensing in Cognitive Radio Networks"in *Procof International Conference on Communication and Mobile Computing,IEEE,* pp.183-187,2010

[8] B Farhang Boroujeny etal., "Multicarrier communication techniques for spectrum sensing and communication in cognitive radios,"*IEEE Communication Magazine*, Vol.46, no.4,pp. 80-85, April 2008.

[9] Nicola Moret and M Tonello, "Design of Orthogonal Filtered Multitone Modulation Systems and Comparison among Efficient Realizations", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 2009,pp.1-18,2009.

[10] Ziyang Ju et al., "OptimizedParaunitary Filter Banks for Time-Frequency Channel Diagonalization*", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 2010, pp.1-12,2010.

[11] JunMa, Li et al.,"Signal Processing in Cognitive Radio**",** *Proc.IEEE,May 2009,*Vol.97,No.5,pp.805-823,2009.

[12] H.Zhang et al.,"Spectral Efficiency Comparsion of OFDM/FBMC for uplink Cognitive Radio Networks",*EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 2010,pp.1-14.

[13] Peiman Aminiand B Farhang Boroujeny, "Packet Format Design and Decision directed Tracking Methods for Filter bank multicarrier Systems*", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 2010,pp.1-13,2010.

[14] T. H. Stitz et al., "Pilot- Based synchronization and Equalization in Filter Bank Multicarrier Communication ", *EURASIPJournal on Advances in Signal Processing*, Vol. 2010,pp.1-18,2010.

[15] TeroIhalainen, T.H.Stitzet al.,"Channel Equalization in Filter Bank based Multicarrirer Modulation For Wireless Communacations",*Hindawi Publishing Corporation,EURASIP Journal on Advances in Signal Processing,* Vol. 2007,pp.1-18,2007**.**

[16] Linnea Rosenbaum et al., "An Approach for synthesis of Modulated M-Channel FIR Filter banks Utilizing the Frequency-Response Masking Technique,"*EURASIP Journal on Advances in Signal Processing,* Vol. 2007,pp.1-13,2007.

[17] Christian Feldbauer,Marian Kepesi et al., "Multirate Signal Processing",Graz University of Technology, Vol. 1.3.3,pp.1-10,2005.

[18] Mohammed Abo-Zahhad,"Current State and Future Direction of Multirate Filter Banks and their Applications"*Digital Signal Processing13(2003),Elsevier science (USA),*Vol.13,no.3, pp.495-518, 2003.

[19] م. عدي قاسم، "تحسين تقنية BO–DPD للهوائي الفائق Massive MIMO في أنظمة الجيل الخامس الخلويةG5"،مجلة جامعة طرطوس،2020.

[20] م.ليلى إسماعيل،" فعالية نظام الجيل الخامس الخلوي في شبكات انترنت الأشياء(iot)"،جامعة البعث،2019.