

اقترح تقنية هجينة لتحسين نسبة استطاعة الذروة إلى الاستطاعة المتوسطة PAPR ضمن أنظمة OFDM

* محمد عبد الكريم عبد الله

(تاريخ الإيداع 2023/1/19 . قُبِلَ للنشر في 2023/3/15)

□ ملخص □

يتزايد استخدام البيانات اللاسلكية بمعدل كبير مما جعل هناك حاجة إلى الابتكارات المتواصلة في تكنولوجيا البيانات اللاسلكية لتوفير قدر أكبر من الإمكانيات وجودة أعلى في الخدمات. يعد نظام التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) اللبنة الأساسية في أنظمة الاتصالات الحديثة مثل شبكات الخلوي الجيل الرابع الخامس 5G. تم في هذا البحث دراسة نظام OFDM ومن ثم تحسين هذا النظام بواسطة دمج عدة تقنيات وهي تابع تصحيح الخطأ الجديد (New Error function Companding) NERF، والمرافق الأسّي المطلق (Absolute Exponential companding) AEXP و تحويل جيب التمام المنقطع DCT (Discrete Cosine Transform) ، من أجل تخفيض نسبة استطاعة الذروة إلى الاستطاعة المتوسطة للإشارة PAPR (Peak to the Average Power Ratio) والتي تعد من أهم السليبيات التي تعاني منها أنظمة OFDM. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية التقنية المقترحة من خلال تخفيض PAPR وتخفيض معدل خطأ البت BER وذلك من أجل قيم مختلفة لنسبة الإشارة إلى الضجيج SNR. تم استخدام برنامج الماتلاب لإجراء عملية المحاكاة.

الكلمات المفتاحية: التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM، نسبة استطاعة الذروة إلى الاستطاعة المتوسطة PAPR، معدل خطأ البت BER، نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR، تابع تصحيح الخطأ الجديد NERF، المرافق الأسّي المطلق AEXP، تحويل جيب التمام المنقطع DCT.

A hybrid technique to improve PAPR in OFDM systems

Mohammad abdalkareem abdallah*

(Received 19/1/2023 . Accepted 15/3/2023)

□ ABSTRACT

Wireless data usage increases at a phenomenal rate. It drives the need for continued innovations in wireless data technologies to provide more capacity and higher quality of service. OFDM system is considered the core of the modern Telecommunication systems such as 4G and 5G mobile networks. This research aims at studying the Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system and improving it by combining several techniques, such as New Error function Companding (NERF) ,Absolute Exponential companding (AEXP) and Discrete Cosine Transform (DCT), The overall purpose is reducing the peak to the average power ratio (PAPR) of the signal, which is one of the most important disadvantages of OFDM systems. Based on the results obtained, the effectiveness of the proposed technology has been proved by reducing the PAPR, reducing the BER bit error rate for different values of the signal-to-noise (SNR) ratio. This in turn improves performance of the system. All simulation experiences have been performed using the MATLAB program.

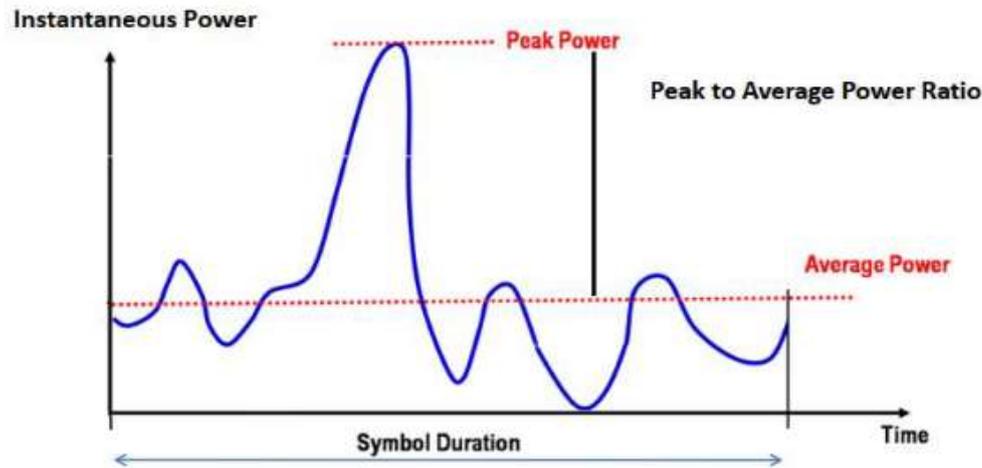
Key Words: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) , Peak to the Average Power Ratio (PAPR), Bit Error Rate (BER), Signal-to-Noise Ratio (SNR), New Error Function Companding (NERF), Absolute Exponential companding (AEXP), Discrete Cosine Transform (DCT).

* Engineer with the master degree in Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering, Tartous University, Syria

1. المقدمة

تطورت الاتصالات النقالة تاريخياً من الجيل الأول عندما كان هذا النظام تشابهاً وأمن الخدمة الصوتية فقط، ثم جاء الجيل الثاني لأنظمة الاتصالات النقالة الرقمية والذي امتلك أداء أفضل لاستخدامه تقنيات TDMA أو FDMA إلا أنه كان محدوداً بعرض الحزمة، وبعدها ظهر الجيل الثالث ليعزز معدل البيانات لكن التطور المستمر في تطبيقات الوسائط المتعددة جعل معدل البيانات المستخدم غير كاف. يجب أن يملك الاتصال اللاسلكي فعالية طيفية عالية و قدرة على مقاومة خفوت القناة في البيئة متعددة المسار، ومن الصعب تحقيق هذه المتطلبات بتقنيات التعديل التقليدية. يعد نظام التقسيم الترددي المتعامد OFDM من أكثر الأنظمة شيوعاً في أنظمة الاتصالات اللاسلكية؛ حيث اعتمد في العديد من المعايير اللاسلكية، وفي الجيل الرابع من أنظمة الاتصالات الخلوية وذلك لكفائته الطيفية ومعدلات نقل البيانات العالية التي يؤمنها [1].

تعاني الأنظمة متعددة الحوامل من مشكلة الغلاف المتغير ذو القيم العليا، ويحدث ذلك عند تراكم الحوامل المستقلة مع بعضها البعض، ينشأ عن ذلك إشارة ذات استطاعة عالية مقارنة بالاستطاعة الوسطية للإشارة، يعرف الفرق بين هاتين القيمتين بالمسمى PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) كما في الشكل (1) [2].



الشكل (1) مفهوم ال PAPR [2]

2- الدراسات المرجعية:

لاقي نظام OFDM اهتماماً ملحوظاً من قبل الباحثين نظراً للتحسينات التي يقدمها في زيادة سرعة نقل البيانات وفي وثوقية هذه البيانات، ويوجد الكثير من الدراسات السابقة التي تناولت نظام OFDM وطرق تحسينها من خلال تخفيض PAPR، وتم التطرق فيما يلي إلى بعض تلك الدراسات:

❖ تم دراسة طرق ضغط الإشارة لتخفيض نسبة PAPR في أنظمة OFDM حيث تم اقتراح سبع طرق هجينة على أساس مزيج من Zaddoff Chu Matrix Transform (ZCT) مع طرق مختلفة من ضغط الإشارة وهي Rooting Companding Transform (RCT), New Error Companding Function (NERF), AEXP, Logarithmic Rooting Companding (Log R), Cosine Companding (COS) و Tangent Rooting Companding (Tanh R), بالإضافة لذلك تم تطوير الطريقة الهجينة السابعة وهي Zaddoff Chu Matrix Transform (ZCT) مع طريقة جديدة مقترحة وهي Advanced AEXP، وبينت النتائج أن عمليات التهجين هذه حققت أداء أفضل في تخفيض PAPR وتم الحصول على أفضل النتائج عند استخدام طريقة ZCT مع AAEXP مقارنة مع الطرق الأخرى [3].

❖ تم دراسة أداء عدة أنواع من تقنيات ضغط الإشارة لتخفيض PAPR في أنظمة OFDM وهي AEXP, NERF, A-law, u-law, وتمت المقارنة بين هذه التقنيات من حيث BER و PAPR ومتوسط الطاقة, وبين الباحثون من خلال نتائج المحاكاة أن طريقة AEXP حققت أفضل أداء للنظام مقارنة مع الطرق الأخرى من حيث جميع البارامترات المقاسة حيث تم تخفيض نسبة PAPR إلى 4.25 dB [4].

❖ تم دراسة تقنية Airy Companding Transform لتخفيض PAPR في أنظمة LTE uplink SC-FDMA وتمت المقارنة مع تقنيات NERF و u-law, حيث تم تخفيض PAPR باستخدام Airy Companding Transform إلى 7.14 dB عندما $a = 2$ و 6.94 dB عندما $a = 2.5$, وبين الباحثين فعالية الطريقة المقترحة في أنظمة اتصالات LTE حيث تتميز ببساطتها ويمكنها تخفيض PAPR من دون الحاجة إلى زيادة طاقة الإشارة المرسل [5].

❖ تم في هذه الدراسة اقتراح تقنية NERF لتخفيض PAPR في أنظمة LTE uplink SC-FDMA وتمت المقارنة مع u-law, تم تطبيق هذه التقنية في نظامين وهما Distributed FDMA (DFDMA) و Localized FDMA (LFDMA) وبينت النتائج فعالية هذه التقنية في تخفيض PAPR حيث تم تخفيضها في LFDMA إلى 3.61 dB وفي DFDMA تم تخفيضها إلى 3.33 dB وتم تحقيق تحسن واضح في BER عند المقارنة مع u-law [6].

❖ اقترح الباحثون في هذه الدراسة استخدام تقنية (IMADJS) image adjustment لتقليل PAPR في أنظمة OFDM, وقاموا بالمقارنة مع تقنية AEXP و NERF و u-law من حيث قيمة PAPR ومعدل خطأ البت BER و الكثافة الطيفية للطاقة PSD, فعالية تقنية IMADJS في تحقيق أقل تأثير على طاقة طيف الإشارة الأصلية كما جفت أقل معدل خطأ وأفضل نتيجة في تخفيض PAPR بالمقارنة مع التقنيات الأخرى [7].

❖ اقترح الباحثون في [8] ثلاث تقنيات لتقليل PAPR في أنظمة OFDM وهي T-SLM و T-PTS-I و T-PTS-II حيث قامت التقنيات المقترحة بتحسين الأداء وخفضت قيمة PAPR على مخططات SLM و PTS التقليدية, كما قللت هذه التقنيات من التعقيدات الحسابية بنسبة 20% من التقنيات التقليدية التي تستخدم تحويل فورييه السريع FFT.

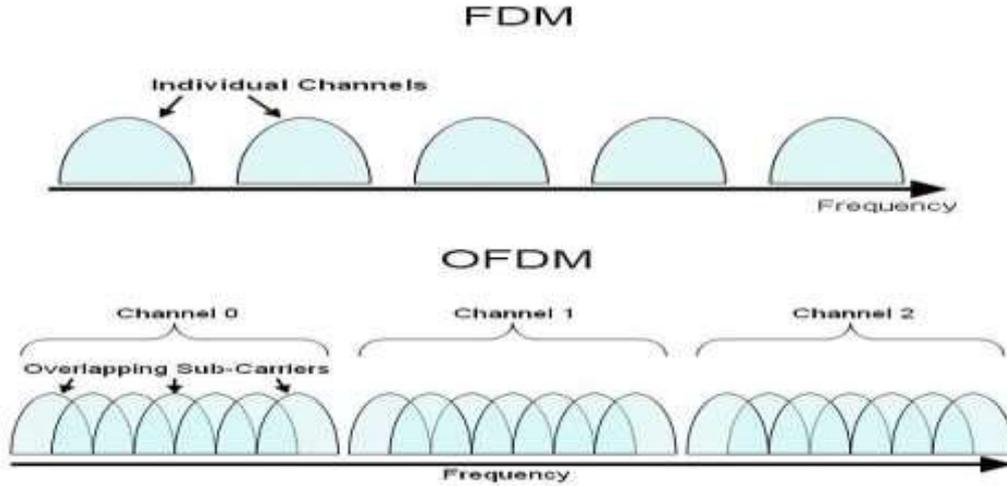
3. أهمية البحث وأهدافه

تكمن أهمية هذا البحث في إيجاد طريقة هجينة جديدة تساهم في تخفيض PAPR والمقارنة مع الطرق الأخرى من حيث معدل خطأ البت BER وبالتالي تحسين أداء النظام وزيادة الوثوقية, حيث أن قيم PAPR المرتفعة في الأنظمة المتعددة الحوامل تؤدي إلى الخروج عن المنطقة الخطية لمكبرات الاستطاعة والذي يسبب تشويه كبير للإشارة والابتعاد عن تعامد الحوامل بسبب الدخول في منطقة الإشباع, والبديل هو تصميم مكبرات استطاعة ذات منطقة خطية كبيرة نسبياً, لكن يتطلب ذلك تكلفة عالية بالإضافة إلى انخفاض فعالية مكبر الاستطاعة. لذلك من المفيد جداً لكي يعمل نظام OFDM بالشكل المطلوب تخفيض قيمة PAPR.

4. طرائق البحث ومواده

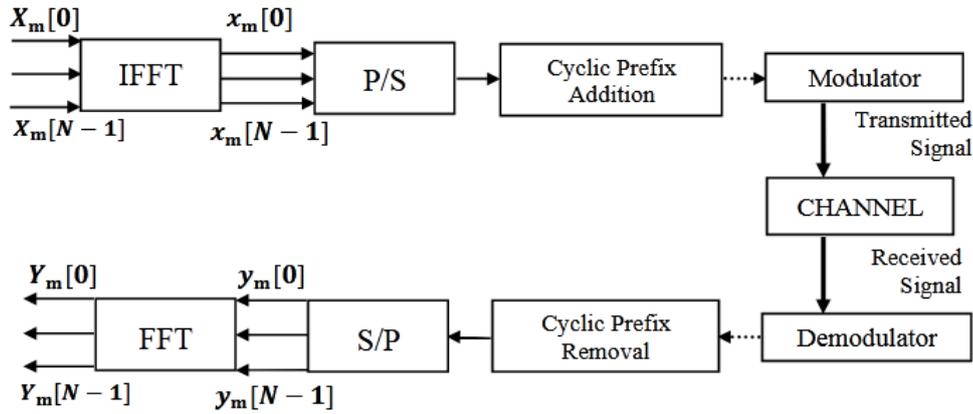
4-1- التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM:

إن أساس هذا النظام هو التجميع بالتقسيم الترددي FDM والذي يقوم بتقسيم عرض الحزمة الكلي إلى مجموعة ترددات جزئية ويعطي كل إشارة أو مستخدم أحد هذه الترددات، ومن مساوئه: أنه يحد من عدد المستخدمين ويتطلب عرض حزمة كبيرة، تكون هذه الترددات ذات معدل نقل بيانات منخفض، ويوجد بينها مجال حماية لمنع التداخل، وبالتالي فإن الفعالية الطيفية تكون منخفضة في التجميع بالتقسيم الترددي FDM [9]، وكما يظهر الشكل (2) الفرق في إرسال مجموعة إشارات بالتعديل الترددي FDM وعرض الحزمة المستهلك مقارنة مع إرسال نفس الإشارات بتعديل OFDM والفرق الكبير بتوفير عرض الحزمة [10].



الشكل (2) مقارنة بين نظام FDM و OFDM [10] .

تستخدم الإشارة المرسل في الأنظمة ذات الحامل الترددي الوحيد كل الطيف الترددي المتوفر، أما في الأنظمة المتعددة الحوامل الترددية يقسم الطيف الترددي المتوفر إلى عدد من المجالات الضيقة. إن مبدأ الإرسال متعدد الحوامل يقوم على أساس تحويل تدفق البيانات التسلسلي ذات المعدل العالي إلى سلاسل جزئية تفرعية N ذات معدل منخفض و يطلق على هذه العملية التحويل من تسلسلي إلى تفرعي، ومن ثم تحول هذه السلاسل التفرعية إلى صيغة التعديل الرقمية QPSK، ويعدل كل مجال جزئي بحامل ترددي جزئي باستخدام Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)، و من ثم تضاف البادئة الدورية (CP) Cyclic Prefix بأخذ نسخة من الجزء الأخير من رمز OFDM ووضعها في مقدمة الرمز على أن يكون زمن البادئة الدورية أكبر من التأخير الأعظمي الذي تسببه القناة لمنع تداخل الرموز مع بعضها (ISI) Inter Symbol Interference و لمنع تداخل الحوامل الترددية مع بعضها (ICI) Inter Carrier Interference، أما في طرف الاستقبال فتحدث عملية معاكسة لما حدث عند المرسل، إذ تحذف البادئة الدورية أولاً ثم تتم عملية FFT، ثم التسوية و فك التعديل و أخيراً عملية التحويل من تفرعي إلى تسلسلي، كما يبين الشكل (3) مخططاً صندوقياً لنظام OFDM [11].



الشكل (3) مخطط نظام OFDM [11].

2-4- تعريف PAPR:

يمكن تعريف نسبة PAPR بالنسبة للإشارة OFDM المستمرة في مجال الزمن على أنها النسبة بين الاستطاعة العظمى للإشارة عند لحظة زمنية معينة على متوسط هذه الاستطاعة، بفرض أن $x(t)$ هي إشارة OFDM المرسل، فيكون PAPR يساوي :

$$PAPR [x(t)] = \frac{\text{MAX}_{0 \leq t \leq T_S} [|x(t)|^2]}{P_{av}} \quad (1)$$

حيث أن P_{av} هو متوسط الطاقة للإشارة $x(t)$ ويمكن حسابها في مجال التردد لأن معكوس تحويل فورييه IFFT مفيد جداً لرموز OFDM [12]. من أجل إشارة OFDM متقطعة أي غير مستمرة فيكون PAPR لفترة زمنية L يساوي :

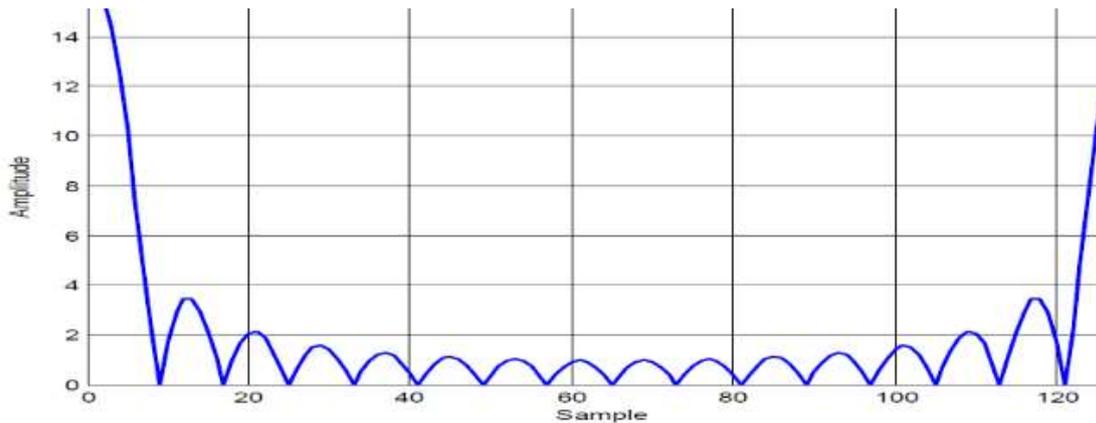
$$PAPR [x(n)] = \frac{\text{MAX}_{0 \leq n \leq N_L} [|x(n)|^2]}{E[|x(n)|^2]} \quad (2)$$

$$\text{The PAPR } [x(n)] \text{ at (dB)} = 10 \log_{10} \frac{\text{MAX}_{0 \leq n \leq N_L} [|x(n)|^2]}{E[|x(n)|^2]} \quad (3)$$

حيث أن $E[]$ تشير إلى التوقع الرياضي و N_L تدل على العدد الكلي للحوامل الفرعية (sub carriers) خلال فترة زمنية L .

يمكن أيضاً وصف خصائص الاستطاعة من خلال تحديد عامل القمة CF (crest facto) والذي يعرف على أنه النسبة بين السعة القصوى للإشارة OFDM وهي $x(t)$ ومتوسط الجذر التربيعي RMS (root-mean-square) للموجة.

تكون في معظم الأحيان قيمة الذروة للإشارة $x(t)$ مساوية ل $|x(t)|$ ومع ذلك يمكن أن نرى من الشكل (4) أن ظهور اتساع الذروة نادر جداً لذلك لا جدوى من استخدام الحد الأقصى ل $|x(t)|$ من أجل تمثيل قيمة الذروة في تطبيقات الزمن الحقيقي، لذلك بناء عليه يتم قياس PAPR لإشارات OFDM بواسطة ثوابت توصيف معينة تتعلق بالاحتمال [13].



الشكل (4) ارتفاع نسبة PAPR عندما تعدل الحوامل الجزئية بنفس الرموز [13]

3-4- متممة دالة التوزيع التراكمي Complementary Cumulative Distributive

:Function (CCDF)

عمليا تعتبر القيمة التجريبية لـ CCDF من أهم المؤشرات لتقييم الـ PAPR. حيث تقاس القدرة على خفض قيمة الـ بالقدرة على خفض الـ CCDF [14]. حيث يمثل الـ CCDF مؤشر على احتمالية أن غلاف إشارة الـ OFDM يتعدى قيمة معينة للـ PAPR. ويعطى بالتعريف التالي: [14]

$$CCDF[PAPR(x^n(t))] = prop [PAPR(x^n(t)) > \delta] \quad (4)$$

حيث $PAPR(x^n(t))$ هي قيمة الـ PAPR لرمز OFDM رقم n , و δ هي عتبة معينة.

اعتماداً على نظرية النهاية المركزية فإن إشارة OFDM تتبع توزيع رايلي، وبالنتيجة فإن استطاعتها تتبع التوزيع الأسّي. وبالتالي تعطى دالة التوزيع التراكمي للإشارة OFDM بالعلاقة:

$$CDF = 1 - e^{-\delta} \quad (5)$$

احتمالية أن قيمة الـ PAPR لإشارة الـ OFDM مع N حامل تحت العتبة δ هو احتمالية بأن كل عينات الإشارة (N عينة) تقع تحت العتبة δ ، لذلك يفرض أن عينات الـ OFDM مستقلة عن بعضها نجد العلاقة:

$$prop(PAPR < \delta) = (1 - e^{-\delta})^N \quad (6)$$

$$CCDF[PAPR(x^n(t))] = 1 - (1 - e^{-\delta})^N \quad (7)$$

4-4 تقنيات خفض الـ PAPR:

كما تم ذكره سابقاً، تؤدي القيم الكبيرة للـ PAPR إلى حدوث إشباع في مضخم الاستطاعة في المرسل، مما يسبب حدوث تداخل بين الحوامل الجزئية (انتقاء التعامد). الأمر الذي يسبب أيضاً انهيار في معدل خطأ البت. إحدى الأفكار المقترحة لحل مشكلة مضخم الاستطاعة هي خفض قيمة الاستطاعة الوسطى بحيث يتم حصر مجال الإشارة ضمن المنطقة الخطية لمضخم الاستطاعة. لكن هذا الحل يؤدي إلى انخفاض قيمة الإشارة إلى الضجيج وبالنتيجة زيادة معدل خطأ البت.

لذلك من الأفضل أن يتم حل هذه المشكلة باستخدام الطرق التي تقوم بخفض القيمة العليا للإشارة، أي خفض قيمة الـ PAPR يمكن أن نصنف تقنيات خفض PAPR بشكل عام إلى الأنواع التالية:

- تقنيات تشويه الإشارة Signal Distortion techniques

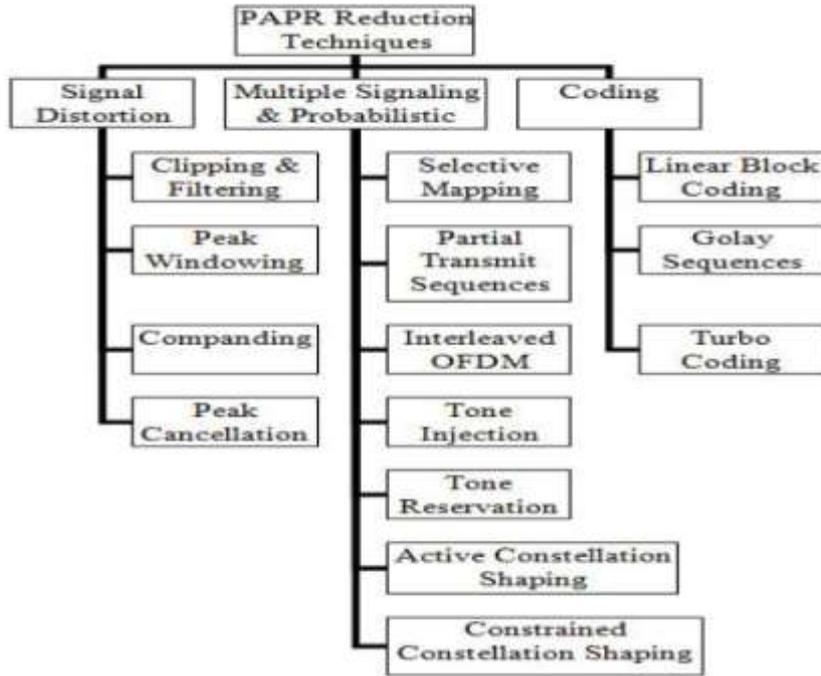
• التقنيات متعددة الإشارات والتقنيات الاحتمالية
Probabilistic techniques

• تقنيات الترميز Coding Techniques

[14]. التقنيات المختلفة المستخدمة تحت الأصناف السابقة (5) يبين الشكل

يتم قياس PAPR من خلال العلاقة:

$$PAPR(x[n]) = \frac{\max|x[n]|^2}{E(|x[n]|^2)} \quad (8)$$



الشكل (5) التقنيات المختلفة لتخفيض PAPR

5-4 تقنيات PAPR المستخدمة في النموذج المقترح:

1-5-4 تابع تصحيح الخطأ الجديد NERF (New error function Comanding):

تعتمد هذه التقنية على دالة الخطأ erf, تعطى معادلة NERF بالعلاقة [15]:

$$h(x) = 2\sigma \operatorname{erf}\left(\frac{|x|}{\sqrt{2}\sigma}\right) \operatorname{sgn}(x) \quad (9)$$

حيث σ هي الانحراف المعياري

أما التحويل العكسي ل NERF يعطى بالعلاقة [15]:

$$h(x)^{-1} = \sqrt{2}\sigma \operatorname{erf}\left(\frac{|x|}{2\sigma}\right) \operatorname{sgn}(x) \quad (10)$$

2-5-4 المرافق الأسّي المطلق AEXP (Absolute Exponential comanding):

تعطى معادلة تقنية AEXP وفق العلاقة [16]:

$$h(x) = \text{sgn}(x) \sqrt[d]{\alpha \left[1 - \exp\left(-\frac{|x|^2}{\sigma^2}\right) \right]} \quad (11)$$

حيث أن d هي مرتبة الضغط و σ هي الانحراف المعياري و تعطى α وفق العلاقة [16]:

$$\alpha = \left(\frac{E\{|x|^2\}}{E\left\{\sqrt[d]{1 - \exp\left(-\frac{|x|^2}{\sigma^2}\right)}\right\}^2} \right)^{\frac{d}{2}} \quad (12)$$

أما التحويل العكسي لتقنية AEXP يعطى وفق العلاقة [16]:

$$h^{-1}(x) = \text{sgn}(x) \sqrt{-\sigma^2 \log_e \left(1 - \frac{|x|^{\frac{2}{d}}}{\alpha} \right)} \quad (13)$$

إن أفضل قيمة ل d والتي تعطي أقل قيمة ل PAPR هي 1.3 [4].

3-5-4 تحويل جيب التمام المنقطع (Discrete Cosine Transform) DCT:

تعط علاقة تحويل DCT وفق الآتي [17]:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cos \left[\frac{\pi}{N} \left(n + \frac{1}{2} \right) k \right] \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (14)$$

4-5-4 التقنيات الهجينة Hybrid PAPR techniques:

تم اقتراح تقنية هجينة وهي عبارة عن دمج التقنيات السابقة وفق الآتي:

AEXP + NERF + DCT

5. النتائج والمناقشة

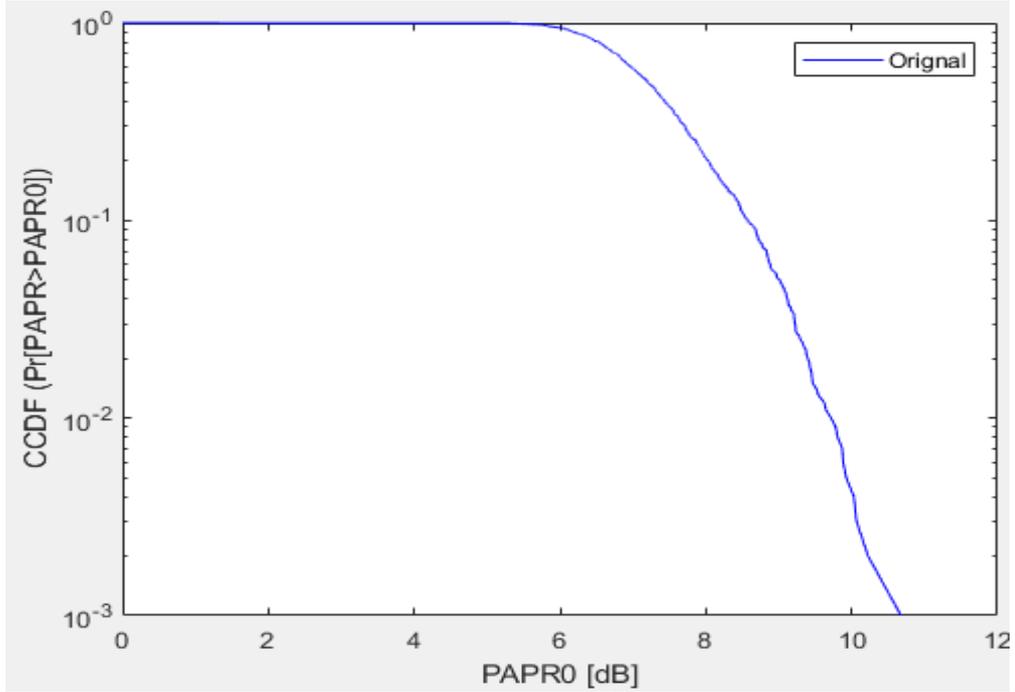
يوضح هذا الجزء من العمل تأثير تطبيق تقنيات تخفيض PAPR على نظام OFDM, حيث تم تنفيذ العمل

باستخدام البيئة البرمجية MATLAB مع بارامترات المحاكاة الموضحة في الجدول (1) كما يلي :

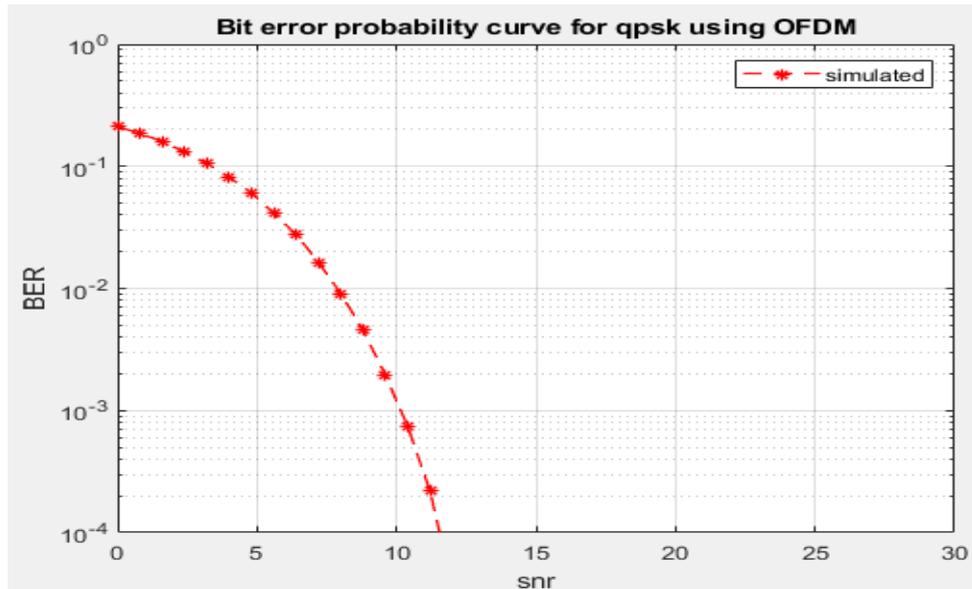
الجدول (1) البارامترات المستخدمة في المحاكاة

FFT size	128
Spacing frequency	15 KHz
BW	1.25MHz
No symbol	1000
Sampling frequency	192MHz
Modulated type	QPSK
Channel type	AWGN
SNR range	0 dB to 30 dB

تم في البداية تقييم أداء نظام OFDM من دون استخدام تقنيات تخفيض PAPR من أجل المقارنة بعد استخدام هذه التقنيات وإيجاد مقدار التحسين في كل تقنية وتأثيرها على معدل خطأ البت BER , تم قياس PAPR لإشارة OFDM المرسله وفق العلاقة (8) الموضحة سابقاً. وبعد تنفيذ بارامترات المحاكاة الموضحة في الجدول (1) من دون تنفيذ تقنيات تخفيض PAPR ينتج لدينا الشكل(6) والشكل (7).



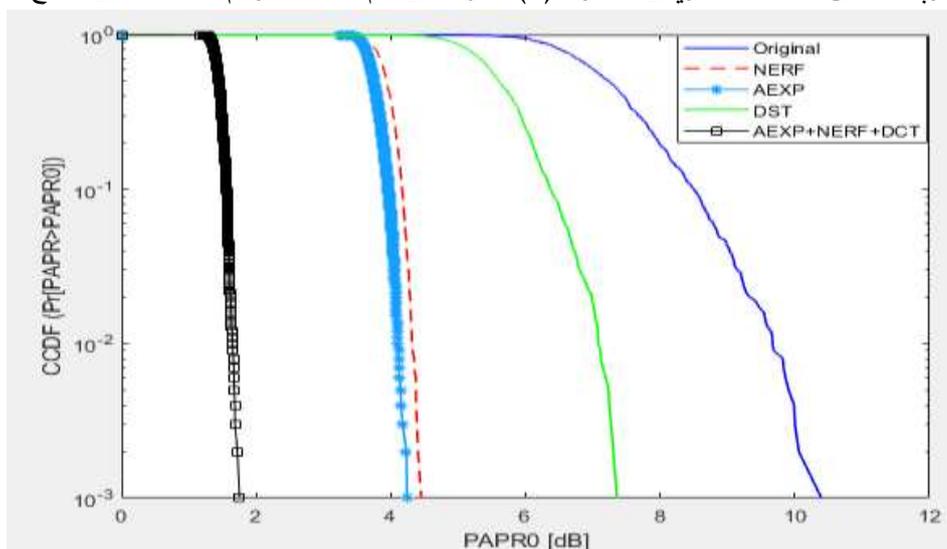
الشكل (6) CCDF of PAPR في نظام OFDM من دون استخدام تقنيات تخفيض PAPR



الشكل (7) معدل خطأ البت BER ل نظام OFDM من دون استخدام تقنيات تخفيض PAPR

يبين الشكل (6) أن قيمة ل CCDF هي 10.676 dB ويبين الشكل (7) أنه عند معدل خطأ البت $BER = 10^{-4}$ تكون نسبة الإشارة إلى الضجيج $SNR = 11.4314$ dB, وتكون قيمة PAPR هي 25.6015dB في حال عدم تطبيق أي تقنيات تخفيض PAPR وهي قيمة مرتفعة.

تم تطبيق تقنيات تخفيض PAPR والتقنية الهجينة المقترحة والمذكورة سابقاً, يبين الشكل (8) CCDF of PAPR قبل وبعد تطبيق هذه التقنية, ويبين الجدول (2) مقارنة بين قيم CCDF وقيم PAPR بين جميع التقنيات.



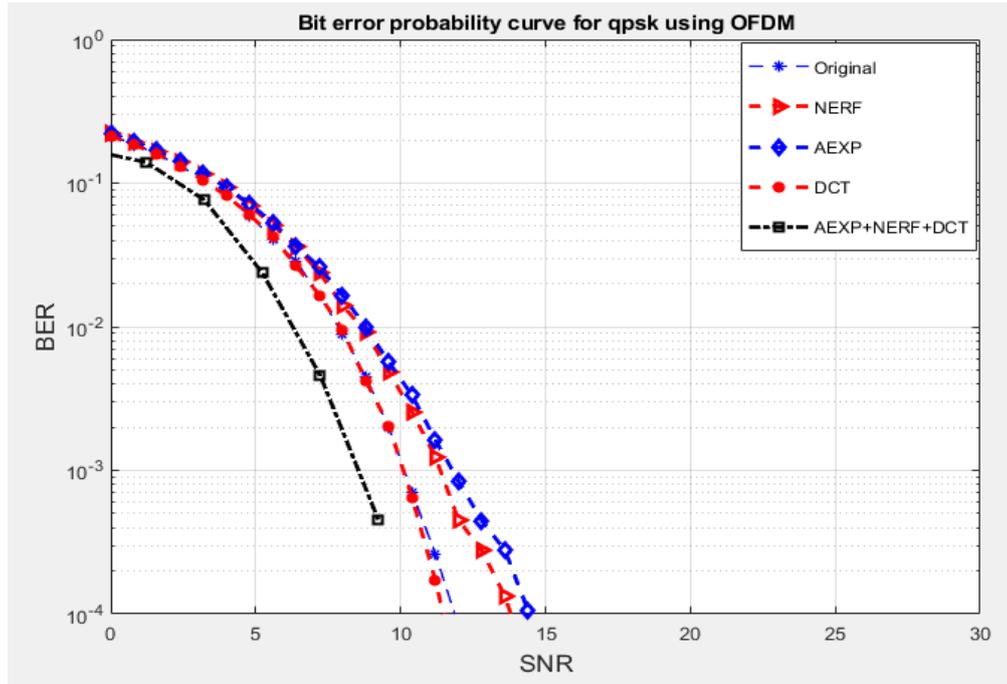
الشكل (8) مقارنة CCDF of PAPR في نظام OFDM قبل وبعد استخدام تقنيات تخفيض PAPR

الجدول (2) مقارنة بين قيم CCDF وقيم PAPR بين جميع التقنيات

	Original	NERF	AEXP	DCT	AEXP+ NERF+DCT
PAPR (dB)	25.6015	10.17	9.61	18.11	3.75
CCDF of PAPR (dB)	10.676	4.43	4.14	7.66	1.75

من الشكل (8) والجدول (2) يتبين أن التقنية الهجينة المقترحة حققت أداء أفضل من ناحية PAPR و CCDF of PAPR, حيث تم تخفيض PAPR عند استخدام تقنية AEXP+ NERF+ DCT إلى 3.75 dB أي تم تحقيق تحسين بمقدار 21.8515 dB, وكانت قيمة CCDF of PAPR هي 1.75 dB أي تم تحقيق تحسين بمقدار 8.926 dB.

تم أيضاً دراسة معدل خطأ البت BER من أجل قيم SNR مختلفة قبل وبعد تطبيق تقنيات PAPR ينتج لدينا الشكل (9) وتم استنتاج الجدول (3).



الشكل (9) معدل خطأ البت BER ل نظام OFDM من دون استخدام تقنيات تخفيض PAPR

الجدول (3) قيم BER في أنظمة OFDM قبل وبعد تطبيق تقنيات PAPR ومن أجل قيم SNR مختلفة

SNR (dB)	Original	NERF	AEXP	DCT	AEXP+NERF+DCT
1	0.184	0.183	0.183	0.183	0.139
2	0.130	0.129	0.129	0.128	0.12
3	0.104	0.101	0.101	0.101	0.076
4	0.08	0.07	0.07	0.06	0.056
5	0.05	0.05	0.05	0.04	0.023

نستنتج من الشكل (9) والجدول (3) أن التقنية الهجينة المقترحة حققت أداء جيد من حيث معدل خطأ البت، حيث أن تقنية AEXP+NERF+DCT حققت أفضل عملية تحسين في BER فعندما SNR = 5dB كان BER = 0.023 أي أنها حققت تحسين بمقدار 0.027 dB.

6.الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث دراسة تحليلية لأنظمة OFDM باستخدام برنامج الماتلاب وتم اقتراح تقنية هجينة لتخفيض PAPR وهي عبارة عن دمج 3 تقنيات وهي AEXP وNERF و DCT , وتم إثبات فعالية التقنية المقترحة في تقليل PAPR وتحسين أداء النظام وتقليل معدل خطأ البت BER.

في البداية تم تقييم أداء نظام OFDM واستنتاج قيمة PAPR للإشارة الأصلية من دون تطبيق أي من تقنيات تخفيض PAPR وتبين أن قيمة PAPR هي 25.6015 dB, كما تم حساب CCDF of PAPR وكانت قيمتها 10.676 dB, كما تم دراسة معدل خطأ البت BER من أجل قيم مختلفة ل SNR.

تم بعد ذلك تطبيق التقنية المقترحة AEXP+NERF+DCT, وتم الاستنتاج أن التقنية الهجينة المقترحة حققت تحسين في أداء نظام OFDM من ناحية PAPR و CCDF of PAPR, حيث تم تخفيض PAPR عند استخدام تقنية AEXP+NERF+DCT إلى 3.75 dB أي تم تحقيق تحسين بمقدار 21.8515 dB, وكانت قيمة CCDF of PAPR هي 1.75 dB أي تم تحقيق تحسين بمقدار 8.926 dB.

كما تم دراسة معدل خطأ البت BER وتبين أن التقنية الهجينة المقترحة حققت أداء جيد من حيث معدل خطأ البت, حيث أن تقنية AEXP+NERF+DCT حققت أفضل عملية تحسين في BER فعندما SNR = 5dB كان BER = 0.023 أي أنها حققت تحسين بمقدار 0.027 dB.

ومن التوصيات المستقبلية:

يمكن في الأبحاث القادمة دراسة تقنيات أخرى مثل تقنية RCT (Rooting Companding Technique) ودمجها مع تقنيات AEXP,NERF, DCT, كما تم في هذا البحث دراسة نوع التعديل QPSK ويمكن في الأبحاث القادمة دراسة أنواع أخرى من التعديل مثل QAM و BPSK ودراسة تأثير نوع التعديل على PAPR, كما يمكن في الأبحاث القادمة دراسة تقنيات تخفيض PAPR على أنظمة MIMO-OFDM.

المراجع

- [1] Anibal Luis Intini ,2000-Orthogonal Frequency Division Multiplexing For Wireless Network Standard IEEE 802.11a,University of California.
- [2] R. Prasad, OFDM for Wireless OFDM for Wireless, Artech House, 2004.
- [3] Nokaiee, S., & AlKhawlani, M. (2018). New Hybrid Schemes for PAPR Reduction in OFDM Systems. *Journal of Science and Technology*, 23(1), 17-38.
- [4] A. Mohammed, M. Shehata, A. Nassar and H. Mostafa, "Performance Comparison of Companding-Based PAPR Suppression Techniques in OFDM Systems," *2019 8th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*, 2019, pp. 1-4.
- [5] K. S. Ramtej and S. Anuradha, "PAPR Reduction in LTE Uplink Communications by Airy Companding Transform," *2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 2018, pp. 1-5.
- [6] K. S. Ramtej and S. Anuradha, "New error function companding technique to minimize PAPR in LTE uplink communications," *2017 Twenty-third National Conference on Communications (NCC)*, 2017, pp. 1-5
- [7] K. S. Ramtej and S. Anuradha, "New error function companding technique to minimize PAPR in LTE uplink communications," *2017 Twenty-third National Conference on Communications (NCC)*, 2017, pp. 1-5.
- [8] M. S. Ahmed, S. Boussakta, A. Al-Dweik, B. Sharif, and C. C. Tsimenidis, "Efficient design of selective mapping and partial transmit sequence using T-OFDM," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 3, pp. 2636–2648, Mar. 2020.
- [9] ZHONGWEI, T; SUZUKI, H; Collings, B . Performance of Antenna Selection for MIMO-OFDM Systems Based on Measured Indoor Correlated Frequency Selective Channels,Sydney, Australia, 2007.
- [10] Ergen, M. (2009). *Mobile Broadband Including WiMAX and LTE*. United States of America: Springer Science+Business Media, LLC.
- [11] MADHAE, H. B; Pradeep, B. M. Performance Evaluation of Space Time Block Coded Spatial Modulation, Vertical-BLAST and Diagonal-BLAST Space Time Block Code , (IJCNWC), ISSN: 2250-3501 Vol.2, No4, August 2012.
- [12] C. Choudhary, and V. Gupta "A Study of Performance Enhancement Schemes for Multicarrier Transmission," *International Journal of Computer Applications*, vol. 68, no. 5, pp. 50-54, April 2013.
- [13] K. Srinivasarao, B. Prabhakararao, and M. V. S. Sairam "Peak-to-Average Power Reduction In MIMO OFDM Systems using Sub-Optimal Algorithm, " *International Journal of Distributed and Parallel Systems*, vol.3, no.3, pp. 261-273, May 2012.
- [14] Y. R. Yasir Rahmatallah, "Peak-To-Average Power Ratio Reduction in OFDM Systems: A Survey And Taxonomy," *IEEE*, 2013.
- [15]T. Jiang and G. Zhu, "Nonlinear companding transform for reducing peak-to-average power ratio of OFDM signals," *IEEE Trans. Broadcast.* vol. 50, no. 3, pp. 342–346, Sept. 2004.,
- [16]Tao Jiang, Yang Yang, and Yong-Hua Song. Exponential companding technique for papr reduction in ofdm systems. *IEEE Transactions on broadcasting*, 51(2):244–248, 2005.
- [17] C. Cox. *An Introduction To LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE And 4G Mobile Communications*. John Wiley & Sons, April 2012.