https://doi.org/10.33261/jaaru.2025.32.4.005 *Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences (2025) 32(4):53-59*

Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences

مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية

كلية الهندسة - جامعة بغداد

جمعية كليات الهندسة اعضاء اتحاد الجامعات العربية

طريقة مقترحة لتحسين أداء نظام UFMC من ناحية PAPR وBER

علاء الدين العلي[1] و محمد سمير مدبس[2]

[1] قسم هندسة الاتصالات –كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية- جامعة حلب،حلب، سوريا

[2]قسم هندسة الاتصالات –كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية- جامعة حلب ،حلب،سوريا

* الباحث الممثل:م.علاء الدين العلي، alaa90.lord@gmail.com

نشر في : 31 كانون الاول 2025

الخلاصة : تم في هذا البحث تخفيض تأثير أهم مشكلتين يعاني منهما نظام الترشيح الكلي متعدد الحاملات (Universal Filtered Multicarrier) وهما مشكلة القيمة الكبيرة لنسبة القيمة العظمى إلى معدل الطاقة (PAPR) في طرف الإرسال والثانية هي مشكلة التداخل بين الحاملات الفرعية (ICI) التي تسبب تدهور معدل خطأ الخانة (BER) وبالتالي انهيار أداء النظام، حيث تم اقتراح طريقة لتخفيض PAPR وBER معاً من خلال تطبيق تقنية التحويل الانتقائي (Selective Mapping) مع طريقة مرافق البيانات (Data Conjugate) في نظام UFMC. تمت المحاكاة باستخدام بيئة MATLAB حيث تثبت نتائج المحاكاة أن الطريقة المقترحة تعطي كفاءة أفضل من نظام UFMC الأساسي، فمن أجل 16QAM وإزاحة ترددية ε=0.05 (ليس لها واحدة) يكون $BER=10^{-5}$ عند E_b/N_0≈15.5dB، أما من ناحية PAPR تم تخفيض هذه النسبة بحوالي 2.25dB مقارنةً بنظام UFMC الأساسي.

الكلمات الرئيسية : نظام الترشيح الكلي متعدد الحاملات، تقنية التحويل الانتقائي، طريقة مرافق البيانات، نسبة القيمة العظمى إلى معدل الطاقة، معدل خطأ الخانة.

1. المقدمة

نظام الترشيح الكلي متعدد الحاملات (UFMC) هو تقنية إرسال متعددة الحاملات يتم فيها إرسال الإشارة عبر العديد من الحاملات الفرعية (sub-carriers) التي تكون متعامدة (orthogonal) فيما بينها، ويعتبر هذا النظام من أهم الأنظمة المرشحة للاستخدام في الاتصالات اللاسلكية المستقبلية بدلاً من نظام التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد (OFDM) [2,3,5]، ولكن الأنظمة متعددة الحاملات بشكل عام ومنها نظام UFMC تعاني من مشكلتين أساسيتين الأولى هي مشكلة القيمة الكبيرة لنسبة القيمة العظمى إلى معدل الطاقة (PAPR) الناتجة عن جمع الحاملات الفرعية في طرف الإرسال والثانية هي مشكلة التداخل بين الحاملات الفرعية (ICI) الناتجة عن فقدان التعامدية بين الحاملات الفرعية بسبب إزاحة دوبلر أو بسبب الاختلاف الترددي بين المهتز المحلي للمرسل والمهتز المحلي للمستقبل. يوجد عدة طرق لتخفيض PAPR وICI ولكن لم يتم التوصل في الدراسات المرجعية لطريقة تخفض هاتين المشكلتين معاً، وسنستعرض ما توصل إليه الباحثون من خلال الدراسات المرجعية التالية:

قام الباحثون في [9] بعرض بعض التقنيات المستخدمة لتخفيض PAPR في نظام UFMC، ثم قاموا باقتراح تقنية هجينة عن طريق تطبيق تقنية القص (Clipping) مع تقنية التحويل الانتقائي (SLM)، حيث تمكنوا من تقليل قيمة PAPR إلا أنهم لم يتطرقوا إلى تقييم أداء تقنيتهم المقترحة من ناحية BER.

كما قام الباحثون في [8] بدمج تقنية القص والترشيح Clipping and Filtering مع تقنية الضغط والتوسيع (Companding)، حيث قدمت تقنيتهم المقترحة أداء جيد في تقليل قيمة PAPR أيضاً ولكن على حساب الـ BER الذي تدهور بشكل كبير مقارنةً مع التقنيات الأخرى.

اقترح الباحثون في [6]، تقنية لتخفيض PAPR في نظام UFMC باستخدام تقنية خلط الإشارة (Scrambling) مع إحدى الخوارزميات الذكية المستوحاة من الطبيعة وهي خوارزمية الفراشات المضيئة (Firefly Algorithm)، حيث تمكنوا بتقنيتهم المقترحة من تقليل قيمة PAPR بحوالي 1.2dB ولكن على حساب معدل خطأ الرمز (SER) الذي تدهور بحوالي 2.2dB مقارنة مع نظام UFMC الأساسي.

قام الباحثون في [16] باقتراح تقنية جديدة أيضاً لتقليل قيمة PAPR في نظام UFMC وذلك باستخدام تقنية التحويل الانتقائي (SLM) مع الخوارزمية الجينية (Genetic Algorithm)، حيث تمكنوا من تقليل قيمة PAPR بشكل جيد، أما نسبة BER لم تتحسن وبقيت نفسها كما في نظام UFMC الأساسي.

كذلك قام الباحثون في [13] باقتراح تقنية فعالة لتقليل قيمة PAPR في نظام UFMC اعتماداً على تقنية التحويل الانتقائي (SLM)، حيث قاموا بتوليد إشارات UFMC مختلفة عددها يساوي $U^2/4$ ومن ثم اختيار الإشارة التي تحقق أقل قيمة لـ PAPR وإرسالها عبر قناة الاتصال، حيث تشير U إلى عدد متجهات دوران الطور (Phase Rotation Vectors)، فتمكنوا بتقنيتهم المقترحة من تقليل قيمة PAPR بشكل جيد أيضاً بدون التأثير على نسبة BER التي بقيت نفسها كما في نظام UFMC الأساسي.

2. أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في تحسين أداء نظام UFMC من خلال تخفيض PAPR وBER معاً، ويكمن الهدف منه في تطبيق تقنية التحويل الانتقائي SLM مع طريقة مرافق البيانات Data Conjugate في نظام UFMC ومن ثم تقييم أداء التقنية المقترحة من خلال قياس نسبة القيمة العظمى إلى معدل الطاقة (PAPR) وقياس معدل خطأ الخانة (BER) من أجل أنواع تضمين وقيم إزاحة ترددية مختلفة.

3. التوصيف الرياضي لنظام UFMC:

يوضح الشكل(1) المخطط الصندوقي المبسط لنظام UFMC [11]، ففي طرف الإرسال يتم تقسيم الحزمة الكلية إلى عدة حزم فرعية، حيث تختلف طريقة الترشيح في نظام UFMC عن الأنظمة الأخرى ففي نظام التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد (OFDM) يتم ترشيح كامل الحزمة دفعة واحدة أما في نظام UFMC يتم ترشيح كل حزمة فرعية بشكل منفصل، وتعطى

1726-4081© 2025 The author(s). Published by Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

الصيغة الرياضية المعبرة عن إشارة UFMC في خرج المرسل بالعلاقة(1) [7]:

$$x(n)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{B}\sum_{l=0}^{L-1}\sum_{k=0}^{K_i-1}S_i(k)f_i(n-l)e^{\frac{j2\pi kn}{N}}$$
$$:n=0,...,N+L-1 \qquad (1)$$

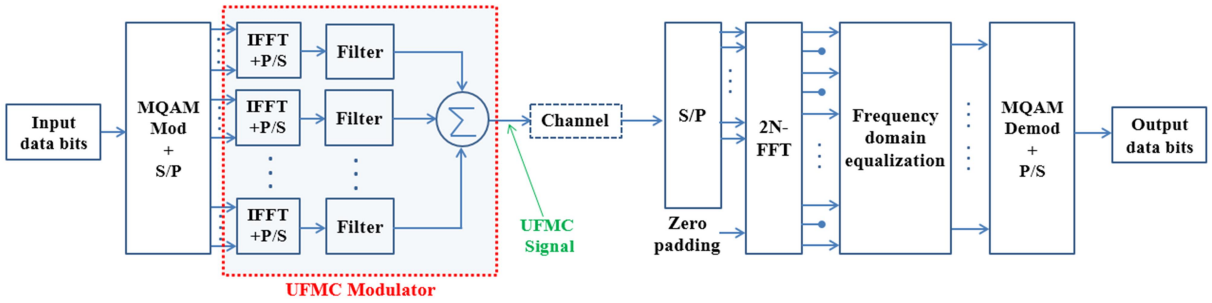
$f_i(n-l)$: الاستجابة النبضية (impulse response) للمرشح المطبق على الحزمة الفرعية i، يعبر $(n-l)$ عن الفرق بين العينة الحالية (n) للإشارة والعينة من الاستجابة النبضية للمرشح التي تطبق عليها (l).

$S_i(k)$: تعبر عن رموز المعطيات التي يتم إرسالها على الحامل الفرعي k للحزمة الفرعية i.

K_i: عدد الحاملات الفرعية في الحزمة الفرعية i، N: حجم IFFT.

L: طول المرشح (filter length)، B: عدد الحزم الفرعية (sub-band).

X(n): إشارة UFMC في المجال الزمني.



شكل 1: المخطط الصندوقي العام لنظام UFMC [11]

بفرض أن إشارة UFMC تعرضت لإزاحة ترددية قدرها ε خلال قناة الاتصال، فإن الصيغة الرياضية المعبرة عن الإشارة المستقبلة بعد مرحلة 2N-FFT تعطى بالعلاقة(2) [7]:

$$y(m)=\sum_{i=1}^{B}\sum_{k=0}^{k_i-1}S_i(k)I(k-m)+w(m) \qquad (2)$$

حيث تعبر w(m) عن الضجيج الأبيض الغوصي (AWGN) المقدم خلال قناة الاتصال، وتشير I(k-m) إلى معاملات ICI وهي ترتبط بالإزاحة الترددية ε وتعطى بالعلاقة(3) [7]:

$$I(k-m)=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N+L-2}\sum_{l=0}^{L-1}f_i(n-l)e^{j2\pi kn/N}e^{-j2\pi\varepsilon n/N}e^{-j2\pi ml/2N} \qquad (3)$$

4. تقنية التحويل الانتقائي (SLM) [4,12]:

تعالج هذه التقنية مشكلة PAPR في الأنظمة متعددة الحاملات، حيث تم ابتكارها عام 1996 وتم تطبيقها في ذلك الوقت على نظام التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد (OFDM)، وتم لاحقاً تطبيقها على الأنظمة المرشحة للاستخدام في الجيل الخامس للاتصالات ومنها نظام UFMC حيث أعطت كفاءة في تخفيض PAPR. ببساطة يعتمد مبدأ عمل هذه التقنية على قيام المرسل بتوليد مجموعة من بلوكات المعلومات المختلفة وجميعها يمثل نفس المعلومات التي يمثلها البلوك الأصلي، حيث يتم ضرب كل بلوك بمتجه دوران طوري مختلف والهدف من هذه العملية هو اختيار البلوك الذي يعطي أقل قيمة لـ PAPR لإرساله عبر القناة، حيث يتم قياس قيمة PAPR في خرج مرسل UFMC، وتعطى العلاقة المعبرة عن نسبة القيمة العظمى إلى معدل الطاقة PAPR بالعلاقة(4) [1,16]:

$$PAPR=\frac{\max\{|x[n]|^2\}}{E\{|x[n]|^2\}} \qquad (4)$$

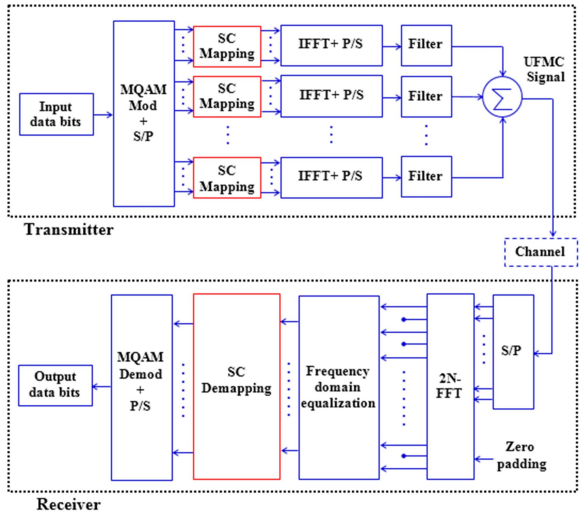
حيث |x[n]| تشير إلى مطال x[n]، و E تشير إلى القيمة المتوقعة.

5. تقنية الإلغاء الذاتي للتداخل بين الحاملات الفرعية:

وهي التقنية الأكثر كفاءة في الحد من تأثير ICI والأقل تعقيداً من الناحية التصميمية من جميع التقنيات الأخرى كونها لا تتطلب تسوية (equalization) ولا تتطلب تقدير قناة (channel estimation) ومناسبة لقنوات الخفوت متعدد المسارات (multipath fading channels) [15]، حيث تكمن فكرة هذه التقنية في توزيع رمز المعطيات على مجموعة من الحاملات الفرعية بحيث أن معاملات التداخل ضمن المجموعة الواحدة تلغي بعضها البعض، ولتطبيقها يتم إضافة مرحلتين بسيطتين لنظام UFMC:

- مرحلة Self-Cancellation Mapping في طرف الإرسال.
- مرحلة Self-Cancellation Demapping في طرف الاستقبال.

ويعطى المخطط الصندوقي لنظام UFMC مع تقنية الإلغاء الذاتي للتداخل بين الحاملات الفرعية بالشكل(2):



شكل 2: المخطط الصندوقي لنظام UFMC مع تقنية الإلغاء الذاتي لـ ICI

عموماً يوجد عدة طرق للإلغاء الذاتي للتداخل بين الحاملات الفرعية تختلف فيما بينها في آلية توزيع رمز المعطيات على الحاملات الفرعية ومنها:

5.1 طريقة تحويل البيانات (Data Conversion) [10]:

وهي الطريقة التقليدية لتقنية الإلغاء الذاتي للتداخل بين الحاملات الفرعية وتعتمد هذه الطريقة على تشكيل رموز المعطيات في المجال الفرعي i بالتتابع المبين في الجدول(1):

جدول 1: آلية توزيع رموز المعطيات على الحاملات الفرعية في طريقة تحويل البيانات Data Conversion

$S_i(0)$
$S_i(1)=-S_i(0)$
$S_i(2)$
$S_i(3)=-S_i(2)$
. . .
$S_i(N_{BC}-2)$
$S_i(N_{BC}-1)=-S_i(N_{BC}-2)$

N_{BC}: عدد الحاملات الفرعية في حزمة واحدة.

5.2 طريقة تحويل البيانات الموزون الجمعي Plural Weighted Data Conversion (PWDC) [10]:

تعتمد هذه الطريقة على تشكيل رموز المعطيات في المجال الفرعي i بالتتابع المبين في الجدول(2):

جدول 2: آلية توزيع رموز المعطيات على الحاملات الفرعية في طريقة تحويل البيانات الموزون الجمعي PWDC

$S_i(0)$
$S_i(1)=e^{-j\frac{\pi}{2}}S_i(0)$
$S_i(2)$
$S_i(3)=e^{-j\frac{\pi}{2}}S_i(2)$
. . .
$S_i(N_{BC}-2)$
$S_i(N_{BC}-1)=e^{-j\frac{\pi}{2}}S_i(N_{BC}-2)$

5.3 طريقة مرافق البيانات (Data Conjugate) [10]:

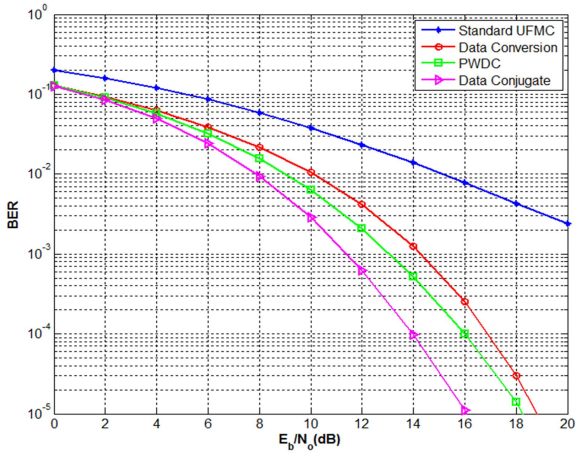
تعتمد هذه الطريقة على تشكيل رموز المعطيات في المجال الفرعي i بالتتابع المبين في الجدول(3):

جدول 3: آلية توزيع رموز المعطيات على الحاملات الفرعية في طريقة مرافق البيانات Data Conjugate

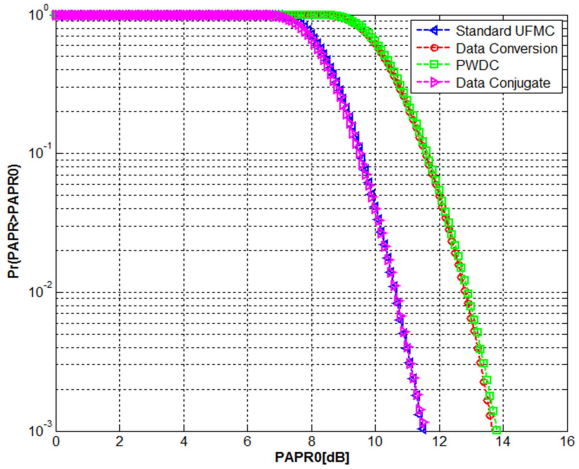
$S_i(0)$
$S_i(1)=-S_i^*(0)$
$S_i(2)$
$S_i(3)=-S_i^*(2)$
. . .
$S_i(N_{BC}-2)$
$S_i(N_{BC}-1)=-S_i^*(N_{BC}-2)$

S_i^*: المرافق العقدي للرمز S_i.

وبتطبيق هذه الطرق الثلاثة في نظام UFMC لتقييم أداء كل منها من ناحية BER وPAPR، نلاحظ من الشكلين (3) و(4) أن طريقة مرافق البيانات تتفوق على طريقة تحويل البيانات وطريقة تحويل البيانات الموزون الجمعي من ناحية BER ومن ناحية PAPR، لذا سنعتمد على آلية طريقة مرافق البيانات في توزيع رمز المعطيات (Data Symbol) على الحاملات الفرعية في الطريقة المقترحة.



شكل 3: مقارنة منحنيات BER لطرق الإلغاء الذاتي في نظام UFMC لحالة تضمين 16QAM، ε=0.05، بدون استخدام SLM



شكل 4: مقارنة منحنيات PAPR لطرق الإلغاء الذاتي في نظام UFMC، حالة تضمين QAM، بدون استخدام SLM

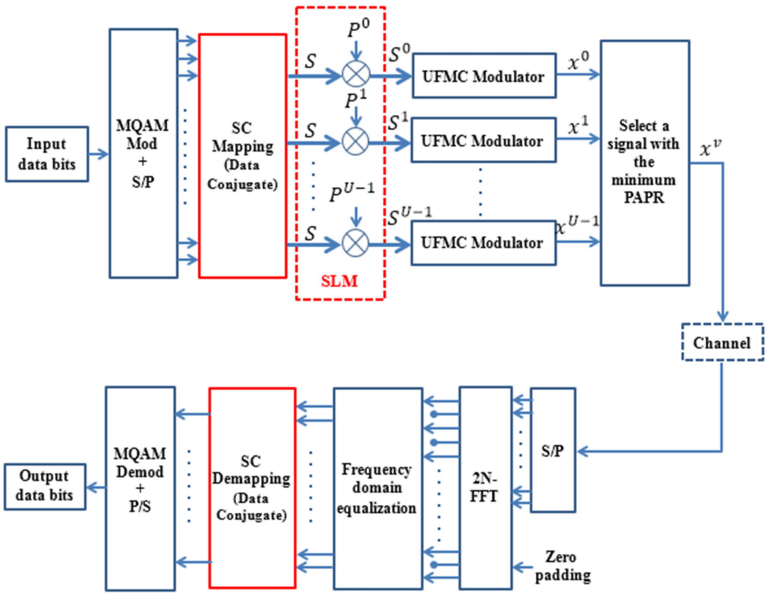
6. الطريقة المقترحة (Proposed Method):

يوضح الشكل(5) المخطط الصندوقي للطريقة المقترحة، حيث يتم في طرف الإرسال دخول البيانات الرقمية التسلسلية إلى صندوق التضمين ليعطي في خرجه رموز نظام التضمين المستخدم، بعد ذلك تدخل رموز

المعطيات (Data Symbols) إلى صندوق مرافق البيانات (Data Conjugate) حيث يتم في هذه المرحلة تعديل رمز المعطيات كما هو على الحامل الفرعي الأول وتعديل المرافق العقدي لرمز المعطيات بعد ضربه بـ (-1) على الحامل الفرعي الثاني وفق التتابع التالي:

$$S_i(1) = -S_i^*(0), S_i(3) = -S_i^*(2), \ldots\ldots, S_i(N_{BC}-1) = -S_i^*(N_{BC}-2)$$

بعد مرحلة مرافق البيانات (Data Conjugate) تبدأ مرحلة التحويل الانتقائي (SLM) حيث يتم فيها نسخ سلسلة رموز الدخل (S) وضربها بمجموعة مؤلفة من U متجه دوران طوري $[P_0, P_1, \ldots, P_{U-1}]$ وكل سلسلة طورية تتألف من N معامل دوران طوري، قيمة كل معامل تساوي



شكل 5: المخطط الصندوقي للطريقة المقترحة

$e^{j\varphi}$، حيث قيمة φ تتراوح بين [0 , 2π]. بعد ضرب كل نسخة من الإشارة S بمتجه دوران طوري تدخل كل إشارة ناتجة $[S_0, S_1, .. , S_{U-1}]$ إلى معدل UFMC خاص بها والذي يحتوي على عدة صناديق IFFT وعدة مرشحات كما هو مبين بالشكل(1)، حيث يتم في معدل UFMC تقسيم العدد الكلي للحوامل الفرعية إلى عدة حزم فرعية، بحيث يكون عدد الحاملات الفرعية في الحزمة الفرعية i هو k_i، ومن ثم يتم توزيع الرموز العقدية الناتجة عن مرحلة SLM على الحاملات الفرعية بواسطة معكوس تحويل فوريه السريع بحجم N، بعد تطبيق عملية IFFT على كل حزمة فرعية فإن الإشارة تمر عبر مرشح حزمة بطول L لتخفيض الإشعاع خارج المجال (Out-of-Band) [14]، وأخيراً يتم جمع خرج هذه المرشحات لتشكيل رمز UFMC بطول N+L-1، وهكذا نحصل على عدة إشارات UFMC هي: $[x^0, x^1, \ldots, x^{U-1}]$ حيث يتم اختيار الإشارة x^v التي تحقق أقل قيمة لـ PAPR ليتم إرسالها عبر قناة الاتصال، حيث تشير v إلى رقم متجه الدوران الطوري الأفضل الذي يحقق أقل قيمة لـ PAPR. في طرف الاستقبال تطبق الإشارة بعد إضافة أصفار (zero padding) على تحويل فورييه مضاعف (2N-FFT) ويتم اختيار الرموز الفردية وتطبيقها على مسوي (Equalizer) لإزالة تشويه المرشح وتقدير الرموز المستقبلة على كل حامل فرعي، بعد ذلك تدخل الرموز إلى مرحلة SC Demapping حيث يتم في هذه المرحلة استخلاص رموز المعطيات بعد إلغاء التداخل ICI عن طريق الدمج الخطي للإشارات المستقبلة، وتعطى العلاقة المعبرة عن الرموز المستقبلة بالعلاقة(5):

$$Y''(m) = \frac{1}{2}[Y'(m) - Y'^{*}(m+1)] \qquad (5)$$

$Y'(m)$: الإشارة المستقبلة على الحامل m.

$Y'^{*}(m+1)$: المرافق العقدي للإشارة المستقبلة على الحامل m+1.

بعد مرحلة SC Demapping يتم فك التضمين لاستخلاص البيانات الرقمة التسلسلية (data bits) من رموز المعطيات (data symbols).

7. المحاكاة والنتائج:

تم استخدام برنامج MATLAB_R2014a لتقييم أداء الطريقة المقترحة من خلال قياس نسبة القيمة العظمى إلى معدل الطاقة (PAPR) وقياس معدل خطأ الخانة (BER)، وعوامل المحاكاة مبينة بالجدول(4).

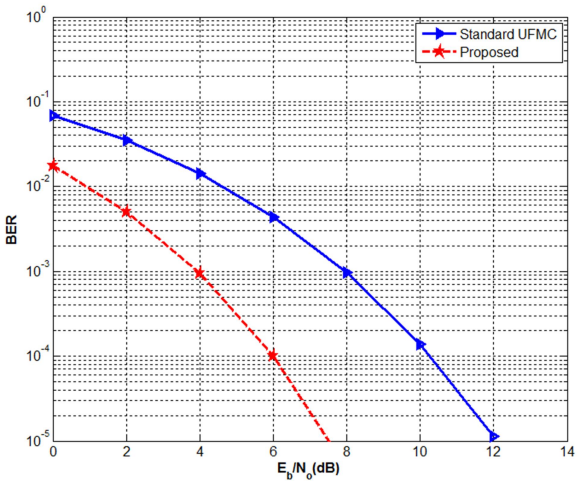
يعد استخدام مرشح chebyshev في نظام UFMC شائعاً في العديد من الدراسات المرجعية نظراً لأدائه وفعاليته، حيث يتميز بقدرته على تخفيض الإشعاعات خارج المجال (out-of-band).

جدول 4: عوامل المحاكاة

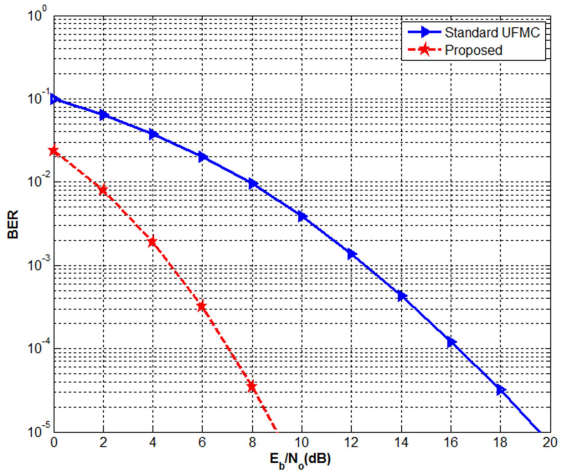
العوامل	الخصائص
حجم FFT	512
عدد الحزم الفرعية	10
عدد الحاملات الفرعية في كل حزمة فرعية	20
نوع التضمين	4QAM , 16QAM
قناة الاتصال	AWGN
نوع المرشح	Chebyshev filter
طول المرشح	43
الإزاحة الترددية	0.05 , 0.1
عدد متجهات دوران الطور	4
عدد إشارات UFMC	100000

تبين المنحنيات المبينة في الأشكال (6-9) مقارنة أداء التقنية المقترحة مع نظام UFMC الأساسي من ناحية معدل خطأ الخانة (BER) من أجل أنواع تضمين وإزاحات ترددية مختلفة، فمن أجل نظام التضمين 4QAM

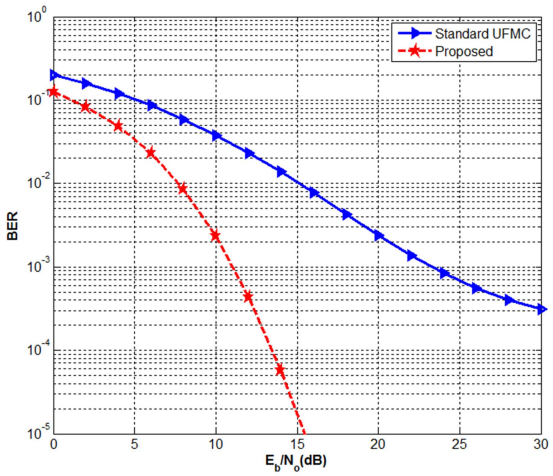
والإزاحة الترددية 0.05 تقدم التقنية المقترحة عند نسبة خطأ 10^{-5} ربح بحوالي 5dB مقارنة مع نظام UFMC الأساسي، وعند الإزاحة الترددية 0.1 تقدم التقنية المقترحة عند نسبة خطأ 10^{-5} ربح بحوالي 9dB مقارنة مع نظام UFMC الأساسي. أما من أجل نظام التضمين 16QAM والإزاحة الترددية 0.05 نلاحظ أنه لا يمكن لنظام UFMC الأساسي الوصول لنسبة خطأ تساوي 10^{-5} في حين يمكن للتقنية المقترحة الوصول لنسبة الخطأ هذه عند $E_b/N_0 \approx 15.5dB$، ومن أجل نظام التضمين 16QAM والإزاحة الترددية 0.1 نلاحظ أن نظام UFMC الأساسي يفقد أداءه بشكل كامل في حين يمكن للتقنية المقترحة الوصول لنسبة خطأ تساوي 10^{-3} عند $E_b/N_0 \approx 16dB$.



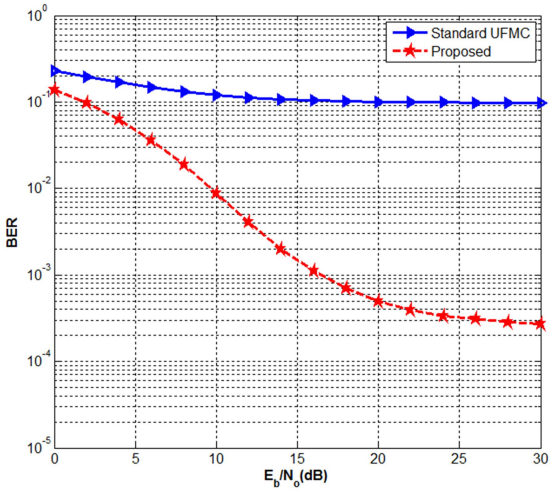
شكل 6: مقارنة BER للتقنية المقترحة مع نظام UFMC الأساسي، لحالة تضمين QAM وإزاحة ترددية ε=0.05



شكل 7: مقارنة BER للتقنية المقترحة مع نظام UFMC الأساسي، لحالة تضمين QAM وإزاحة ترددية ε=0.1

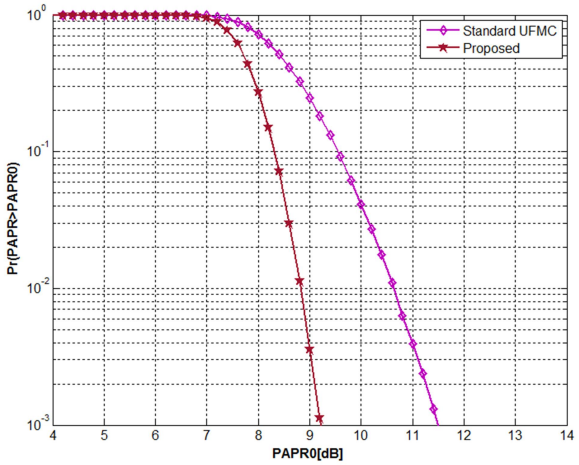


شكل 8: مقارنة BER للتقنية المقترحة مع نظام UFMC الأساسي، لحالة تضمين 16QAM وإزاحة ترددية ε=0.05



شكل 9: مقارنة BER للتقنية المقترحة مع نظام UFMC الأساسي، لحالة تضمين 16QAM وإزاحة ترددية ε=0.1

أما بالنسبة لقيمة PAPR فإنه يتم قياسها في خرج مرسل UFMC وقبل إرسال الإشارة، أي أنه لا تتأثر قيمة PAPR بالإزاحة الترددية التي تحدث خلال قناة الاتصال. نلاحظ من الشكل (10) أن الطريقة المقترحة حسنت أداء نظام UFMC من ناحية نسبة القيمة العظمى إلى معدل الطاقة (PAPR) بحوالي 2.25dB مقارنة بنظام UFMC الأساسي.



شكل 10: مقارنة PAPR للتقنية المقترحة مع نظام UFMC الأساسي، حالة التضمين QAM

8. الاستنتاجات:

تم في هذا البحث اقتراح طريقة لتحسين أداء نظام UFMC من ناحية معدل خطأ الخانة (BER) ومن ناحية نسبة القيمة العظمى إلى معدل الطاقة (PAPR) عن طريق استخدام بنية تقنية التحويل الانتقائي (SLM) التي تعتبر من التقنيات الهامة في تخفيض PAPR وطريقة مرافق البيانات (Data Conjugate) التي تعتبر من الطرق الفعالة في تخفيض ICI وتحسين BER. إن تطبيق تقنية SLM مع طريقة Data Conjugate في نظام UFMC حسن قيم كلاً من PAPR وBER، حيث أنه بعد الدراسة وإجراء المحاكاة للطريقة المقترحة باستخدام برنامج MATLAB استطعنا من خلال هذا البحث أن نستنتج ما يلي:

- بينت نتائج المحاكاة أن الطريقة المقترحة حسنت أداء نظام UFMC من ناحية معدل خطأ الخانة BER بفعالية من أجل أنظمة تضمين وإزاحات ترددية مختلفة نتيجة استخدام طريقة مرافق البيانات (Data Conjugate) في الطريقة المقترحة.
- بينت نتائج المحاكاة أيضاً أن الطريقة المقترحة حسنت أداء نظام UFMC من ناحية نسبة القيمة العظمى إلى معدل الطاقة (PAPR) بحوالي 2.25dB مقارنة بنظام UFMC الأساسي نتيجة استخدام بنية تقنية التحويل الانتقائي (SLM) في الطريقة المقترحة.

9. المصادر:

[1] A. Akash, B. U. Maheswari, B. P. Naidu, A. Revanth and A. V. V. Raj, "PAPR Analysis in UFMC System Using Companding Technique for Wireless Communications," Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR), Vol. 10, Issue 3, 2023.

[2] A. Hazareena and B. A. Musthafa, "UFMC System Performance Analysis for 5G Cellular Networks," Turkish Journal of Computer and Mathematics Education, vol. 12, no. 10, 2021.

[3] A. J. Ramadhan, "Overview and Implementation of the Two Most Important Candidate 5G Waveforms," Journal of Theoretical and Applied Information Technology, vol. 97, no. 9, 2019.

[4] F. S. Shawqi, L. Audah, A. T. Hammoodi, M. M. Hamdi and A. H. Mohammed, "A Review of PAPR Reduction Techniques for UFMC Waveform," IEEE, International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), 2020.

[5] K. Kishore, J. Naveen, R. Kumar and S. Rao, "A Comprehensive Analysis of PAPR Reduction in Scrambled UFMC and OFDM Using Artificial Bee Colony Algorithm for 5G Communication," IETE of Research, vol. 70, Issue. 5, 2023.

[6] K. Sakthi and K. Dhinesh, "PAPR Reduction Technique for Universal Filter Multi Carrier," International Journal of Advance Research in Engineering, Science & Technology, vol. 5, I. 3, 2018.

[7] L. Ken, C. Heli, D. Sirui and Z. Zhiyi, "Improved Algorithm of Carrier Interference Suppression in UFMC System," Institute of Telecommunication & Information Engineering, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Vol. 36, no. 9, 2019.

[8] P. Rani, S. Baghla and H. Monga, "An Improved PAPR Reduction Technique for Universal Filter Multi-Carrier Modulation," Acta Electrotechnica et Informatica, vol. 18, no. 1, 2018.

[9] P. Rani, S. Baghla and H. Monga, "Hybrid PAPR Reduction Scheme for Universal Filter Multi-Carrier Modulation in Next Generation Wireless Systems," Research & Development in Material Science, vol. 2, no.5, 2018.

[10] Q. Shi, Y. Fang and M. Wang, "A Novel ICI Self-Cancellation Scheme for OFDM Systems," IEEE International Conference on Wireless Communication, Networking and Mobile Computing, pp. 1-4, 2009.

[11] R. Ravindran and A. Viswakumar, "Performance Evaluation of 5G Waveforms: UFMC and FBMC-OQAM with Cyclic Prefix-OFDM System," 9th International Conference on Advances in Computing and Communication, 2019.

[12] R. W. Bauml, R. F. H. Fischer and J. B. Huber, "Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of Multicarrier Modulation by Selected Mapping," Electronics Letters, Vol. 32, no. 22, 1996.

[13] S. A. Fathy, M. N. A. Ibrahim, S. S. Elagooz and M. Elhennawy, "Efficient SLM Technique for PAPR Reduction in UFMC Systems," 36th National Radio Science Conference (NRSC), 2019.

[14] S. P. Yadav, "Performance Optimization of Universal Filtered Multicarrier Technique for Next Generation Communication Systems," International

[16] Y. Zhang, K. Liu and Y. Liu, "A Novel PAPR Reduction Algorithm Based on SLM Technique in UFMC Systems," IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC Workshops), 2018.

Journal of Electrical and Computer Engineering Systems, vol. 14, Number 2, 2023.

[15] V. Chaudhary and R. Mandal, "A Review on Various Approaches to Reduce ICI in MIMO OFDM System," International Journal for Innovative Research in Science & Technology (IJIRST), Vol. 1, I. 8, 2015.

A Proposed Method for Improving The Performance of UFMC System in terms of PAPR and BER

Alaa Aldeen Alali [1], ***Mohammad Samir Modabbes*** [2]

[1] *Department of Communications Engineering - Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Aleppo University, Aleppo, Syria,*

[2] *Department of Communications Engineering, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Aleppo University, Aleppo, Syria, ,*

**Corresponding author: Alaa Aldeen Alali ,alaa90.lord@gmail.com.*

Puplished online: 31 December 2025

Abstract— In this research, the impact of two major issues affecting the Universal Filtered Multicarrier (UFMC) system was mitigated: the high peak-to-average power ratio (PAPR) and intercarrier interference (ICI) which leads to the degradation of the bit error rate (BER) and consequently, the overall system performance. A method was proposed to simultaneously reduce both PAPR and BER by applying the selective mapping (SLM) technique in combination with the data conjugate method within the UFMC system. Simulations were conducted using MATLAB, and the results demonstrate that the proposed method offers superior performance compared to the standard UFMC system. For 16QAM modulation and frequency offset ε=0.05 (dimensionless), the BER reaches 10^{-5} at $E_b/N_o \approx 15.5$dB. Additionally, the PAPR was reduced by approximately 2.25dB compared to standard UFMC system.

Keywords— UFMC, SLM, Data Conjugate, PAPR, BER.