

تقييم أداء تقنية PWDC المُحسنة في نظام UFMC من ناحية PAPER و BER

علاء الدين العلي^{1*} محمد سمير مدبس²

^{1*} طالب دكتوراه، قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب،

alaaeldeen_alali@alepuniv.edu.sy

² أستاذ، دكتور، قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب،

mohammamodabbes@alepuniv.edu.sy

الملخص:

يعاني نظام الترشيح الكلي متعدد الحوامل (UFMC) من الحساسية للإزاحة الترددية خلال القناة التي تدمر التعامدية بين الحوامل الفرعية وبالتالي حدوث التداخل بين الحوامل الفرعية (ICI) وازدياد معدل خطأ الخانة (BER).

يقدم هذا البحث دراسة لنظام UFMC بعد تطبيق إحدى تقنيات الإلغاء الذاتي لـ ICI وهي تقنية PWDC المُحسنة والتي تم استخدامها لتصحيح خطأ الدوران للرموز المستقبلية في نظام OFDM ومن ثم مقارنة أداء هذه التقنية مع نظام UFMC الأساسي ومع تقنيات DC وPWDC وWCT من ناحية معدل خطأ الخانة (BER) ومن ناحية نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة (PAPR).

تثبت نتائج المحاكاة أن طريقة PWDC المُحسنة تعطي كفاءة أفضل من طرق الإلغاء الذاتي الأخرى ومن نظام UFMC الأساسي في تخفيض التداخل بين الحوامل الفرعية وتحسين BER ولكن على حساب نسبة PAPR التي ازدادت بحوالي 4.5dB بالمقارنة مع نظام UFMC الأساسي.

الكلمات المفتاحية: الترشيح الكلي متعدد الحوامل (UFMC)، الإلغاء الذاتي للتداخل بين الحوامل الفرعية (ICI self-cancellation)، معدل خطأ الخانة (BER)، نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة (PAPR).

تاريخ الإيداع : 2023/6/1

تاريخ القبول: 2023/8/1



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA

Performance Evaluation of Improved PWDC Technique in UFMC System in terms of PAPR and BER

Alaa Aldeen Alali*¹ Mohammad Samir Modabbes²

*¹Postgraduate Student, Dep. Of Communication Engineering, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, University of Aleppo, alaaeldeen_alali@alepuniv.edu.sy

²Prof. Dr, Dep. Of Communication Engineering, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, University of Aleppo, mohammamodabbes@alepuniv.edu.sy .

Abstract:

Universal filtered multi-carrier (UFMC) system is sensitive to frequency offset through the channel that destroys the orthogonality between subcarriers, resulting in inter-carrier interference (ICI) which increases BER.

This paper presents a study of UFMC system after applying one of the ICI self-cancellation techniques, which is the improved PWDC technique, which was used to correct the phase rotation error of received symbols in OFDM system, and then compares the performance of this technique with Standard UFMC and DC, PWDC, WCT techniques, in terms of BER and PAPR.

Simulation results prove that the improved PWDC technique gives better efficiency than other self-cancellation techniques and standard UFMC in reducing ICI and improving BER, but at the cost of PAPR which is increased by about 4.5dB compared to the standard UFMC system.

Keywords: Universal Filter Multi Carrier (UFMC), ICI self-cancellation, Bit Error Rate (BER), Peak to Average Power Ratio (PAPR).

Received: 1/6/2023

Accepted: 1/8/2023



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

المقدمة:

وجد Rani وآخرون (2017)، وكذلك Ramadhan (2019) أن نظام UFMC هو المرشح الأقوى للاستخدام في الجيل الخامس للاتصالات، فهو متوافق مع تقنية MIMO ومع نظام التعديل QAM، كما أنه يخفض الإشعاعات خارج المجال (out of band)، إلا أنه يعاني من مشكلتين: الأولى هي مشكلة التداخل بين الحوامل الفرعية (ICI) الناتجة عن فقدان التعامدية بين الحوامل الفرعية بسبب إزاحة دوبلر أو بسبب الاختلاف الترددي بين المهتز المحلي للمرسل والمهتز المحلي للمستقبل والتي تؤدي إلى ازدياد BER وانهباء أداء النظام، والثانية هي مشكلة القيمة الكبيرة لنسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة (PAPR). يوجد العديد من التقنيات المستخدمة لتخفيض ICI في الأنظمة المتعددة الحوامل ولكن تبين بعد الكثير من الدراسات والأبحاث أن تقنية الإلغاء الذاتي لـ ICI هي التقنية الأكثر كفاءة (Chaudhary et al., 2015).

1. الدراسات المرجعية:

قام Zhao وآخرون (2001) بابتكار تقنية الإلغاء الذاتي للتداخل بين الحوامل الفرعية وذلك لتحسين أداء نظام التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد (OFDM)، حيث قاموا بتعديل رمز المعطيات على الحامل الفرعي الأول وتعديل الرمز ذاته بعد ضربه بـ (-1) على الحامل الفرعي الثاني فخفضوا بذلك ICI وحسنوا BER، إلا أنهم لم يدرسوا تأثير هذه التقنية على نسبة PAPR التي تعتبر من المشاكل الأساسية في الأنظمة متعددة الحوامل، وتُعرف هذه الطريقة بأنها الطريقة التقليدية للإلغاء الذاتي وأطلق عليها الباحثون في بعض المراجع اسم طريقة تحويل البيانات (DC) Data Conversion. بينما قام Peng وآخرون (2007) بتعديل رمز المعطيات على الحامل الفرعي الأول وتعديل الرمز ذاته بعد ضربه بـ $(e^{-j\frac{\pi}{2}})$ على الحامل الفرعي الثاني فخفضوا بذلك ICI وحسنوا BER في نظام OFDM بشكل أفضل من طريقة تحويل البيانات (DC)،

ولكنهم لم يقيموا أداء هذه التقنية من ناحية PAPR. بعد ذلك قام Shi وآخرون (2009) بتعديل رمز المعطيات على الحامل الفرعي الأول وتعديل المرافق العقدي للرمز بعد ضربه بـ $(e^{j\frac{\pi}{2}})$ على الحامل الفرعي الثاني فخفضوا بذلك ICI وحسنوا BER في نظام OFDM بشكل أفضل من الطريقتين السابقتين، ولكنهم لم يدرسوا تأثير هذه التقنية على نسبة PAPR. أما Rahman وآخرون (2012) قاموا باقتراح تقنية PWDC المُحسنة التي تستخدم أربعة حوامل فرعية لإرسال رمز المعطيات بدلاً من حاملين فرعيين وذلك لتصحيح خطأ الدوران الطوري للإشارة المستقبلية في نظام OFDM، ولكنهم لم يتطرقوا إلى مقارنة طريقتهم المقترحة مع طرق الإلغاء الذاتي الأخرى، كما أنهم لم يقيموا أداء هذه التقنية من ناحية BER و PAPR. أما بالنسبة لتطبيق تقنيات الإلغاء الذاتي في نظام UFMC فقد قام Chen وآخرون (2018) بتطبيق تقنية تحويل البيانات (DC) في نظام UFMC فنجحوا بتخفيض تأثير الإزاحة الترددية على النظام، إلا أنهم لم يتطرقوا إلى تقييم أداء طرق الإلغاء الذاتي الأخرى في نظام UFMC.

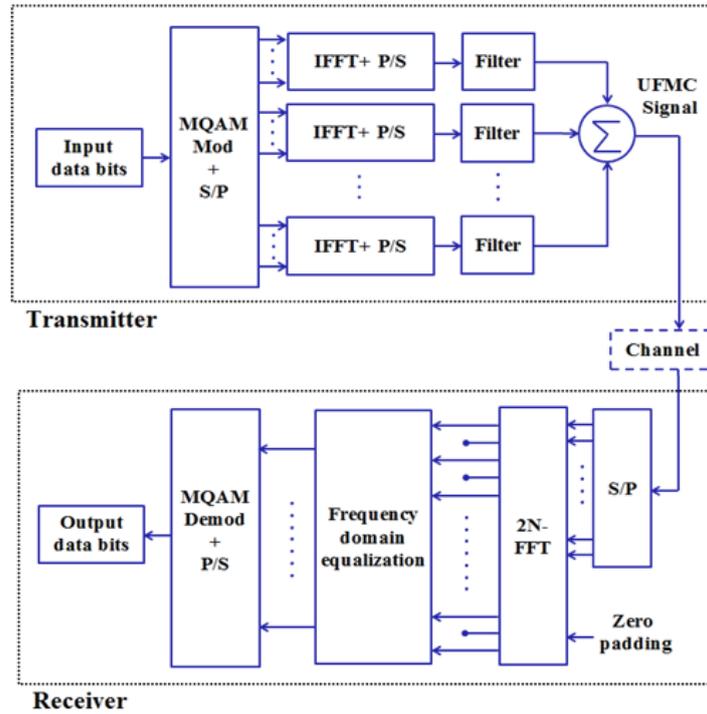
2. أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في تطبيق تقنية PWDC المُحسنة المعتمدة على أربعة حوامل فرعية لإرسال رمز المعطيات في نظام UFMC وتقييم أداءها في تخفيض التداخل بين الحوامل الفرعية (ICI) من خلال قياس معدل خطأ الخانة (BER) بوجود الإزاحة الترددية خلال قناة الاتصال وذلك من أجل أنواع تعديل وقيم إزاحة ترددية مختلفة، ومن ثم دراسة تأثير هذه التقنية على نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة (PAPR)، وذلك بالمقارنة مع نظام UFMC الأساسي ومع طرق الإلغاء الذاتي الأخرى التي تستخدم حاملين فرعيين لإلغاء التداخل بين الحوامل الفرعية.

3. التوصيف الرياضي لنظام UFMC:

وثانياً سيحدّ من طبيعة القناة عريضة المجال انتقائية التردد (frequency selective channel) وذلك بتحويلها إلى عدة قنوات مستوية (flat channels) ضيقة المجال. يوضح الشكل (1) المخطط الصندوقي العام لنظام UFMC (Ravindran et al.,2019):

نظام الترشيح الكلي متعدد الحوامل (UFMC) هو نظام إرسال متعدد الحوامل يقوم بتوزيع الإشارة عريضة المجال على عدة حوامل فرعية ضيقة المجال متعامدة فيما بينها، حيث يقوم المرسل بإرسال البيانات على دفعات جزئية ترسل كل منها على حامل فرعي مختلف بدلاً من إرسالها دفعة واحدة، وبالتالي هذا سيؤدي أولاً إلى زيادة في معدل إرسال البيانات



الشكل (1) المخطط الصندوقي العام لنظام UFMC

يتم في مرسل نظام UFMC تقسيم الحوامل الفرعية إلى عدة مجالات فرعية (sub bands)، وكل مجال فرعي يتألف من عدد محدد من الحوامل الفرعية، وهنا تختلف طريقة الترشيح في نظام UFMC عن الأنظمة الأخرى ففي نظام التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد (OFDM) يتم ترشيح كامل المجال دفعة واحدة وفي نظام بنك المرشحات متعدد الحوامل (FBMC) يتم ترشيح كل حامل فرعي لوحده بشكل منفصل، أما في نظام UFMC يتم ترشيح كل مجال فرعي كما هو موضح في الشكل (2) (Kamurthi et al.,2020):

$$PAPR = 10 \log_{10} \frac{\max\{|x[n]|\}^2}{E\{|x[n]|\}^2} \quad (2)$$

حيث $|x[n]|$ هي مطال $x[n]$ ، و E تشير إلى التوقع الرياضي للإشارة.

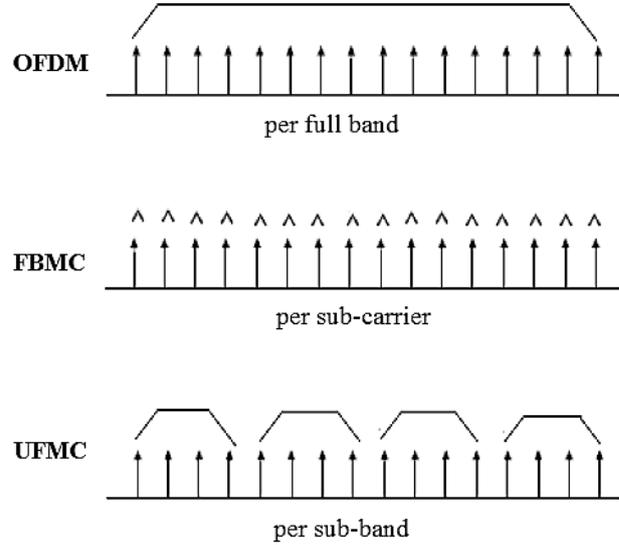
عند تعرض إشارة UFMC لإزاحة ترددية قدرها ε خلال قناة الاتصال، فإن الصيغة الرياضية المعبرة عن الإشارة المستقبلية بعد مرحلة $2N$ -FFT تُعطى بالعلاقة (3) (Ken et al.,2019):

$$y(m) = \sum_{i=1}^B \sum_{k=0}^{k_i-1} S_i(k) I(k-m) + w(m) \quad (3)$$

حيث $w(m)$ يعبر عن الضجيج الأبيض الغوسي AWGN. وتشير $I(k-m)$ إلى معاملات التداخل بين الحوامل الفرعية ICI، حيث وجد الباحثون أن الاختلاف بين معاملات التداخل للحوامل المتجاورة صغير جداً، ومن هنا ولدت فكرة تقنية الإلغاء الذاتي للتداخل بين الحوامل الفرعية.

4. تقنية الإلغاء الذاتي ل ICI:

مبدأ عمل هذه التقنية يعتمد على تقليل قيمة معاملات التداخل $I(k-m)$ أقصى ما يمكن، حيث يتم فيها تعديل رمز المعطيات على مجموعة من الحوامل الفرعية بحيث أن معاملات التداخل الناشئة ضمن المجموعة الواحدة تلغي بعضها البعض،



الشكل (2) طرق الترشيح في OFDM , FBMC , UFMC

وتُعطى العلاقة الرياضية المعبرة عن إشارة UFMC في خرج المرسل بالعلاقة (1) (Ken et al.,2019):

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

$$: n = 0, \dots, N + L - 1$$

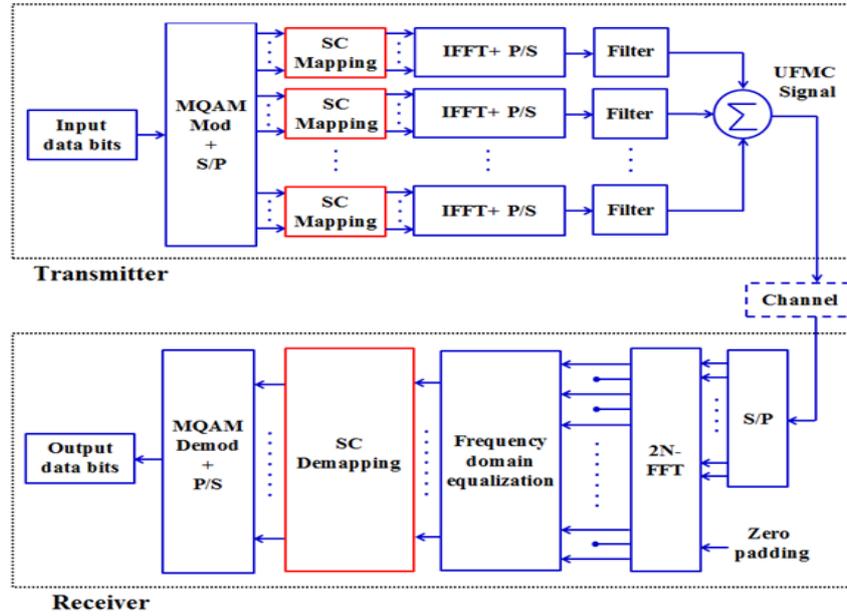
حيث f_i : الاستجابة النبضية للمرشح.

S_i : إشارة المجال الفرعي i .

N : حجم IFFT.

L : طول المرشح.

وتُعطى علاقة PAPR المعبرة عن نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة بالعلاقة (2) (Nahar et al.,2022):



الشكل (3) المخطط الصندوقي لنظام UFMC مع تقنية الإلغاء الذاتي لـ ICI

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

حيث N_{BC} : عدد الحوامل الفرعية في مجال فرعي واحد.

2.4. طريقة تحويل البيانات الموزون الجمعي Plural

Weighted Data-Conversion (PWDC) Method:

هذه الطريقة تعتمد على تشكيل رموز المعطيات في المجال

الفرعي i بالتتابع المبين في الجدول (2):

ولتطبيق هذه التقنية في نظام UFMC يتم إضافة مرحلتين للنظام كما هو موضح بالشكل (3)، حيث يتم في طرف الإرسال تعديل رمز المعطيات على مجموعة من الحوامل الفرعية، ويتم في طرف الاستقبال استخلاص رموز المعطيات بعد إلغاء التداخل ICI عن طريق الدمج الخطي للإشارات المستقبلية. وتعتبر تقنية الإلغاء الذاتي للتداخل بين الحوامل الفرعية مناسبة لقنوات الخفوت متعدد المسارات (multipath fading channels)، كما أنها بسيطة وتطبيقها غير معقد وغير مكلف كونها لا تتطلب تقدير قناة (channel estimation). وكما ذكرنا في الدراسات المرجعية يوجد عدة تقنيات للإلغاء الذاتي تختلف فيما بينها في آلية توزيع الرمز على الحوامل الفرعية، وهي:

1.4. طريقة تحويل البيانات Data-Conversion

(DC) Method:

هذه الطريقة تعتمد على تشكيل رموز المعطيات في المجال

الفرعي i بالتتابع المبين في الجدول (1):

الجدول (1) آلية توزيع رموز المعطيات على الحوامل الفرعية في طريقة

تحويل البيانات (DC)

الجدول (2) آلية توزيع رموز المعطيات على الحوامل الفرعية في طريقة

تحويل البيانات الموزون الجمعي (PWDC)

$S_i(0)$

الفرعي الأول وتعديل الرمز بعد ضربه بـ $(e^{-j\frac{\pi}{2}})$ على الحامل الفرعي الثاني وتعديل الرمز بعد ضربه بـ (-1) على الحامل الفرعي الثالث وتعديل الرمز بعد ضربه بـ $(e^{j\frac{\pi}{2}})$ على الحامل الفرعي الرابع، حيث تعتمد هذه الطريقة على تشكيل رموز المعطيات في المجال الفرعي i بالتتابع المبين في الجدول (4):
الجدول (4) آلية توزيع رموز المعطيات على الحوامل الفرعية في طريقة تحويل البيانات الموزون الجمعي المُحسنة (Improved PWDC)

$S_i(0)$
$S_i(1) = e^{-j\frac{\pi}{2}}S_i(0)$
$S_i(2) = -S_i(0)$
$S_i(3) = e^{j\frac{\pi}{2}}S_i(0)$
.
.
.
$S_i(N_{BC} - 4)$
$S_i(N_{BC} - 3) = e^{-j\frac{\pi}{2}}S_i(N_{BC} - 4)$
$S_i(N_{BC} - 2) = -S_i(N_{BC} - 4)$
$S_i(N_{BC} - 1) = e^{j\frac{\pi}{2}}S_i(N_{BC} - 4)$

بعد تعديل رموز المعطيات على الحوامل الفرعية في طرف الإرسال يتم تخفيض التداخل بين الحوامل الفرعية في مرحلة SC Demapping في طرف الاستقبال، حيث تعمل هذه المرحلة كالتالي:

أولاً: تضرب الإشارة المستقبلية على الحامل $(m + 1)$ بـ $e^{-j\frac{\pi}{2}}$ ثم تضاف إلى الإشارة المستقبلية على الحامل m ، وتُعطى الإشارة الناتجة بالصيغة (4):

$$Y_1(m) = Y(m) - Y(\hat{m} + 1)e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

ثانياً: تضرب الإشارة المستقبلية على الحامل $(m + 2)$ بـ (-1) ثم تضاف إلى الإشارة المستقبلية على الحامل $(m + 3)$ بعد ضربها بـ $e^{-j\frac{\pi}{2}}$ ، وتُعطى الإشارة الناتجة بالصيغة (5):

$$Y_2(m) = -Y(m + 2) + Y(\hat{m} + 3)e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

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

3.4. طريقة تحويل المرافق الموزون Weighted Conjugate Transformation (WCT) Method

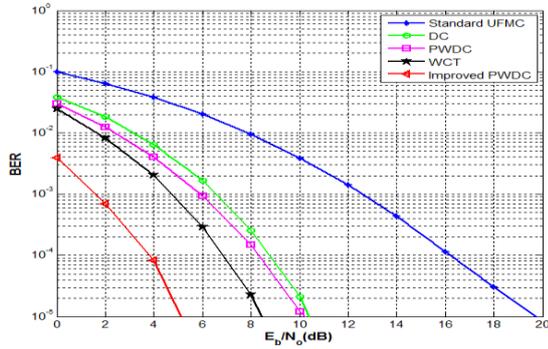
هذه الطريقة تعتمد على تشكيل رموز المعطيات في المجال الفرعي i بالتتابع المبين في الجدول (3):
الجدول (3) آلية توزيع رموز المعطيات على الحوامل الفرعية في طريقة تحويل المرافق الموزون (WCT)

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

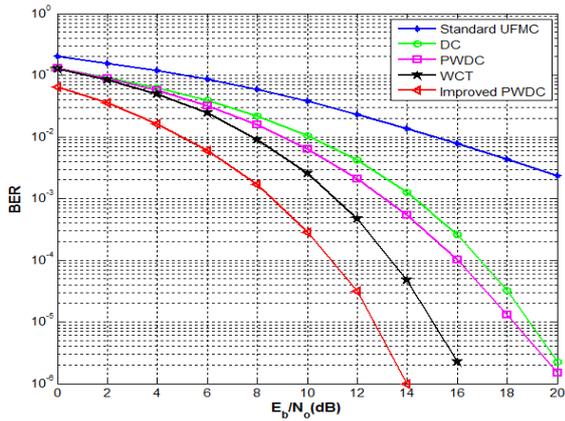
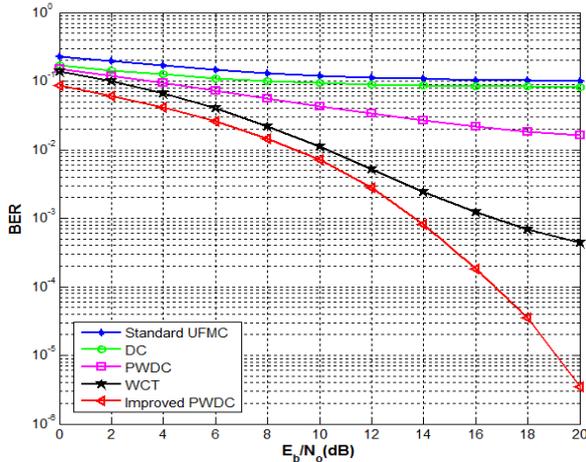
حيث S_i^* : المرافق العقدي للرمز S_i .

4.4. طريقة تحويل البيانات الموزون الجمعي المُحسنة Improved Plural Weighted Data-Conversion (Improved PWDC) Method

استخدم الباحثون هذه الطريقة في نظام OFDM لتصحيح خطأ الدوران الطوري للإشارة المستقبلية وهي تختلف عن طرق الإلغاء الذاتي الأخرى حيث يتم فيها تعديل رموز المعطيات على أربعة حوامل فرعية بدلاً من حاملين، ففي مرحلة SC Mapping في طرف الإرسال يتم تعديل الرمز على الحامل

الشكل (5) معدل الخطأ للنظام QAM عند انزياح ترددي $\varepsilon=0.1$

تبين المنحنيات المبينة في الأشكال (6) و (7) معدل خطأ الخانة BER لنظام التعديل 16QAM من أجل قيم مختلفة لـ E_b/N_0 وعند قيم الإزاحة الترددية $\varepsilon = (0.05, 0.1)$.

الشكل (6) معدل الخطأ للنظام 16QAM عند انزياح ترددي $\varepsilon=0.05$ الشكل (7) معدل الخطأ للنظام 16QAM عند انزياح ترددي $\varepsilon=0.1$

ثالثاً: أخيراً تعطى العلاقة المعبرة عن الرموز المستقبلية بالصيغة (6):

$$Y'(n\phi) = Y_1(m) + Y_2(m)$$

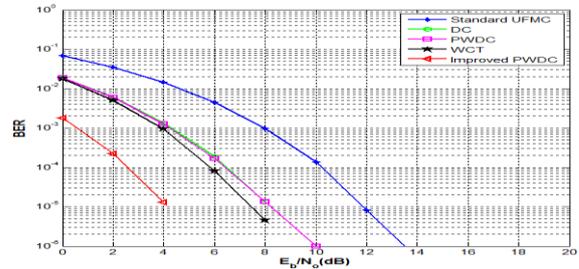
5. المحاكاة والنتائج:

تم استخدام بيئة MATLAB لتقييم أداء طريقة PWDC المُحسنة في نظام UFMC عن طريق قياس معدل خطأ الخانة BER وقياس نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة PAPR ومقارنة النتائج مع نظام UFMC الأساسي ومع طرق الإلغاء الذاتي الأخرى بوجود الإزاحة الترددية خلال القناة. وبارامترات المحاكاة مبينة بالجدول (5):

الجدول (5) بارامترات المحاكاة

البارامترات	الخصائص
حجم FFT	512
عدد المجالات الفرعية	10
عدد الحوامل الفرعية في كل مجال فرعي	20
نوع التعديل	QAM , 16QAM
قناة الاتصال	AWGN
نوع المرشح	Chebyshev filter
طول المرشح	43
الإزاحة الترددية	0.05 , 0.1
عدد رموز UFMC	10000

تبين المنحنيات المبينة في الأشكال (4) و (5) معدل خطأ الخانة BER لنظام التعديل QAM من أجل قيم مختلفة لـ E_b/N_0 وعند قيم الإزاحة الترددية $\varepsilon = (0.05, 0.1)$.

الشكل (4) معدل الخطأ للنظام QAM عند انزياح ترددي $\varepsilon=0.05$

نظام التعديل 16QAM وعند الإزاحة الترددية 0.1 ينهار نظام UFMC الأساسي وتنفذ طرق الإلغاء الذاتي (DC، PWDC، WCT) أداءها في معالجة ICI، بينما أظهرت طريقة PWDC المُحسنة فعاليتها في تخفيض ICI حيث يمكن الوصول لنسبة خطأ $BER=10^{-5}$ عندما $E_b/N_0=19\text{dB}$.

تثبت نتائج المحاكاة أنه من أجل أنظمة التعديل QAM، 16QAM وعند قيم الإزاحة الترددية التي تمت دراستها تقدم طريقة PWDC المُحسنة أداء أفضل من طرق الإلغاء الذاتي الأخرى في تخفيض التداخل بين الحوامل الفرعية (ICI) الذي انعكس بشكل إيجابي على معدل خطأ الخانة BER حيث تحسن بشكل ملحوظ كما هو مبين بالجدول (6)، فمن أجل

الجدول (6) نتائج المحاكاة المستخلصة من الأشكال (4)، (5)، (6)، (7)

Method	Eb/N0 at ($\epsilon=0.05$, $BER=10^{-5}$)		Eb/N0 at ($\epsilon=0.1$, $BER=10^{-5}$)	
	QAM	16QAM	QAM	16QAM
Standard UFMC	11.75 dB	---	19.7 dB	---
DC	8.25 dB	18.9 dB	10.25 dB	---
PWDC	8.25 dB	18.2 dB	10.15 dB	---
WCT	7.25 dB	15 dB	8.4 dB	---
Improved PWDC	4 dB	12.7 dB	5 dB	19 dB

الشكل (7) مقارنة نسبة PAPR بين طرق الإلغاء الذاتي ونظام UFMC الأساسي من أجل نظام التعديل QAM

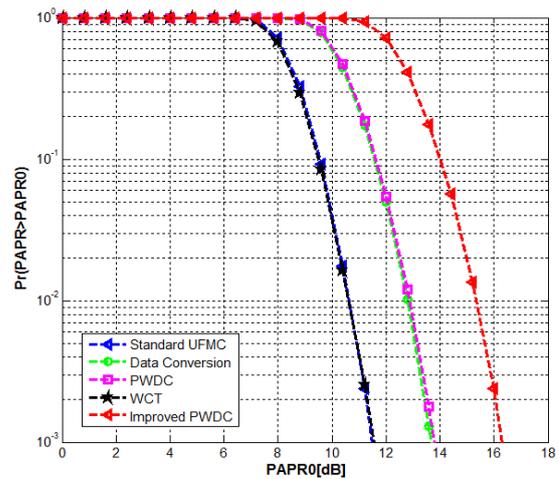
6. الخاتمة:

تم في هذا البحث تطبيق طريقة PWDC المُحسنة في نظام UFMC، وتم تقييم أداء هذه التقنية في تخفيض التداخل بين الحوامل الفرعية (ICI) من خلال قياس معدل خطأ الخانة (BER).

أظهرت نتائج المحاكاة أن طريقة PWDC المُحسنة تحسن BER بفعالية وبشكل أفضل من طرق الإلغاء الذاتي الأخرى التي تمت دراستها في هذا البحث والتي تعتمد على حاملين فرعيين لإرسال رمز المعطيات ولكن على حساب نسبة PAPR التي تدهورت بشكل أكبر من طرق الإلغاء الذاتي الأخرى.

باعتبار أن طريقة PWDC المُحسنة أثبتت فعاليتها في تخفيض ICI فمن الممكن أن يكون دمجها مع إحدى تقنيات تخفيض PAPR للحصول على طريقة هجينة تخفض BER و PAPR معاً موضوعاً لبحث آخر.

يبين الشكل (7) تأثير طريقة PWDC المُحسنة وتأثير طرق الإلغاء الذاتي الأخرى على نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة (PAPR)، حيث نلاحظ أن طريقة PWDC المُحسنة دهورت أداء نظام UFMC من ناحية PAPR بحوالي 4.5dB، أما طريقة تحويل المرافق الموزون (WCT) لم تؤثر على نسبة PAPR حيث حافظت على نفس النسبة تقريباً كما في نظام UFMC الأساسي.



7. مسرد المصطلحات:

Plural Weighted Data Conversion (PWDC)	تحويل البيانات الموزون الجمعي
Data Conversion	تحويل البيانات
Weighted Conjugate Transformation (WCT)	تحويل المرافق الموزون
Universal Filtered Multicarrier (UFMC)	الترشيح الكلي متعدد الحوامل
Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)	التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد
Filter Bank Multicarrier (FBMC)	بنك المرشحات متعدد الحوامل
Bit Error Rate (BER)	معدل خطأ الخانة
Peak to Average Power Ratio (PAPR)	نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة
Inter-Carrier Interference (ICI)	التداخل بين الحوامل الفرعية
ICI Self-Cancellation	الإلغاء الذاتي للتداخل بين الحوامل الفرعية

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

9. Ravindran, R. and Viswakumar, A. (2019). Performance Evaluation of 5G Waveforms: UFMC and FBMC-OQAM with Cyclic Prefix-OFDM System. 9th International Conference on Advances in Computing and Communication.
10. Kamurthi, R.T., Chopra, S.R., Gupta, A. (2020, Mar 12-14). Higher Order QAM Schemes in 5G UFMC System, International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI), India.
11. Ken, L., Heli, C., Sirui, D., Zhiyi, Z. (2019). Improved Algorithm of Carrier Interference Suppression in UFMC System. Institute of Telecommunication & Information Engineering, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Vol.36, No.9.
12. Nahar, A. and Hussein, M. (2022). A hybrid of the selected mapping and partial transmit sequence approaches for reducing the high peak average to power ratio based on multi-carrier systems – review. Computer Science and Information Technologies, Vol.3, No.1.

References:

1. Rani, P. and Baghla, S., Monga, H. (2017). Performance Evaluation of Multi-carrier Modulation Techniques for Next Generation Wireless Systems. International Journal of Advanced Research in Computer Science, Vol.8, No.5.
2. Ramadhan, A.J. (2019). Overview And Implementation Of The Two Most Important Candidate 5G Waveforms. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol.97, No.9.
3. Chaudhary, V. and Mandal, R. (2015). A Review on Various Approaches to Reduce ICI in MIMO OFDM System. International Journal for Innovative Research in Science & Technology, Vol.1.
4. Zhao, Y. and Haggman, S.G. (2001). Inter-carrier Interference Self-Cancellation Scheme for OFDM Mobile Communication Systems. IEEE Transactions on Communications, Vol.49, No.7.
5. Peng, Y.H, Kuo, Y.C., LEE, G.R., Wen, J.H. (2007). Performance Analysis of a New ICI-Self-Cancellation-Scheme in OFDM Systems. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.35, No.4.
6. Shi, Q., Fang, Y., Wang M. (2009). A Novel ICI Self-Cancellation Scheme for OFDM Systems. IEEE International Conference on Wireless Communication, Networking and Mobile Computing, pp. 1-4.
7. Rahman, M., Kanti Dey, P., Ur Rashid, M.F.R. (2012). Improved ICI Self Cancellation Scheme for Phase Rotation Error Reduction in OFDM System. International Journal of Information and Electronics Engineering, Vol.2, No.4.
8. Chen, L. and Yu, J.G. (2018). Interference cancelation scheme with variable bandwidth allocation for universal filtered multicarrier systems in 5G networks. Springer-EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking.