تطبيق طريقة مرافق البيانات في نظام UFMC

علاء الدين العلي*، محمد سمير مدبس**

* طالب دراسات عليا (دكتوراه)، قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب

**أستاذ، قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب

الملخص

تُعد تقنية الترشيح الكلي متعدد الحوامل (UFMC) مرَشَحاً واعداً لنظام اتصالات الجيل الخامس. UFMC يواجه مشكلتين أساسيتين: الأولى هي القيمة الكبيرة لنسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة (PAPR)، والثانية هي التداخل بين الحوامل الفرعية ICI التي تؤدي إلى زيادة معدل خطأ الخانة (BER).

يقدم هذا البحث دراسة لنظام UFMC بعد المعالجة بتقنية من تقنيات الإلغاء الذاتي للتداخل بين الحوامل الفرعية وهي طريقة مرافق البيانات (Data-Conjugate)، ومقارنة أداء هذه الطريقة مع طريقة تحويل البيانات (Data-Conversion) ومع نظام UFMC الأساسي من ناحية BER وPAPR.

تثبت نتائج المحاكاة أن طريقة مرافق البيانات تعطي كفاءة أفضل من طريقة تحويل البيانات ومن نظام UFMC الأساسي في إنقاص BER، فمثلاً من أجل 16QAM وإزاحة ترددية $\varepsilon=0.04$ وعند معدل خطأ 10^{-4} تقدم هذه الطريقة ربح أكبر من طريقة تحويل البيانات بحوالي 2dB وبحوالي 8dB من نظام UFMC الأساسي.

كما تثبت نتائج المحاكاة أن طريقة مرافق البيانات تخفض PAPR بحوالي 2dB مقارنةً مع طريقة تحويل البيانات ولكنها تحافظ على نفس القيمة تقريباً كما في نظام UFMC الأساسي.

الكلمات المفتاحية: الترشيح الكلي متعدد الحوامل، الإلغاء الذاتي للتداخل بين الحوامل الفرعية، طريقة تحويل البيانات، طريقة مرافق البيانات، معدل خطأ الخانة، نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة.

ورد البحث للمجلة بتاريخ2022/3/28

قبل للنشر بتاريخ 24 /2022/5

Applying Data-Conjugate Method in UFMC System

Alaa Aldeen Alali*, Mohammad Samir Modabbes**

*Postgraduate Student (Ph.D), Dept. of Communication Engineering, Faculty of Electrical and Electronic Engineering University of Aleppo

**Prof. , Dept. of Communication Engineering, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, University of Aleppo

Abstract

Universal filtered multi-carrier (UFMC) technology is a promising candidate for 5G communication system. UFMC faces two main problems: the first is the high value of peak-to-average power ratio (PAPR), and the second is inter-carrier interference (ICI) which leads to an increase in the value of bit error rate (BER).

This paper presents a study of UFMC system after processing with one of ICI self-cancellation techniques, which is data-conjugate method, and compares the performance of this method with data-conversion method and with the original UFMC in terms of BER and PAPR.

Simulation results prove that data-conjugate method gives efficiency better than data-conversion method and original UFMC in decreasing BER. For example, for 16QAM at a frequency offset $\varepsilon=0.04$ and a BER of 10^{-4}, this method offers around 2dB higher gain than the data-conversion method, and around 8dB higher gain than the original UFMC.

Simulation results also prove that data-conjugate method reduces PAPR by around 2dB compared to data-conversion method but maintains almost the same value as in the original UFMC.

Keywords: UFMC, ICI self-cancellation (ICI-SC), data-conversion method, data-conjugate method, BER, PAPR.

Received 28 /3 /2022
Accepted 24/5/2022

1. مقدمة:

خلال السنوات الماضية كانت تقنية التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد (OFDM) هي التقنية المعتمدة في معظم أنظمة الاتصالات مثل تقنية الاتصالات اللاسلكية عريضة النطاق (WIMAX) المبنية على معيار IEEE 802.16، تقنية النطاق الترددي فائق العرض (UWB)، شبكة الجيل الرابع للاتصالات الخلوية (LTE) [1].

ونتيجة الحاجة الماسة لتلبية احتياجات ومتطلبات التطبيقات المستقبلية مثل انترنت الأشياء (IoT)، واتصالات مركبة إلى مركبة (V2V)، واتصال آلة إلى أي شيء (M2X)، والراديو المعرفي (CR)، تم ابتكار العديد من التقنيات البديلة لنظام OFDM لتلبية هذه الاحتياجات مثل تقنية بنك المرشحات متعدد الحوامل (FBMC) وتقنية الترشيح الكلي متعدد الحوامل (UFMC)، وبعد الكثير من الدراسات والأبحاث تبين أن تقنية UFMC هي الخيار الأفضل للاستخدام في الـ 5G [2].

على أي حال، يوجد مشكلتين أساسيتين في نظام UFMC هما: مشكلة القيمة الكبيرة لنسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة (PAPR) الناتجة عن جمع الحوامل الفرعية في طرف المرسل، ومشكلة التداخل بين الحوامل الفرعية (ICI) الناتجة عن إزاحة دوبلر أو الاختلاف الترددي بين الهزاز المحلي للمرسل والهزاز المحلي للمستقبل والتي تؤدي إلى زيادة BER.

يوجد تقنيات عديدة لمعالجة ICI وتقنيات أخرى لمعالجة PAPR كل منهما على حدا، ولكن من أهم التقنيات التي تعالج كلا ICI وPAPR معاً هي تقنية الإلغاء الذاتي للتداخل بين الحوامل الفرعية ICI Self-Cancellation (ICI-SC) التي استخدمها الباحثون في نظام OFDM، وسنستعرض أهم ما توصلوا إليه من خلال الدراسات المرجعية التالية:

- اقترح طريقة [3]تحويل البيانات في نظام OFDM حيث قاموا بتعديل رمز المعطيات على حاملين فرعيين متتاليين، حيث يتم تعديل الرمز على الحامل الفرعي الأول وتعديله بعد ضربه بإشارة سالبة على الحامل الفرعي الثاني فخفضوا

بذلك ICI وحسنوا BER إلا أنهم لم يقيموا أداء هذه التقنية من ناحية PAPR.

- قام[4] . باقتراح طريقة مرافق البيانات من أجل تخفيض PAPR في نظام OFDM حيث قاموا بتعديل الرمز كما هو على الحامل الفرعي الأول وتعديل مرافقه العقدي بعد ضربه بإشارة سالبة على الحامل الفرعي الثاني فنجحوا بتخفيض نسبة PAPR
- قام[5] باستخدام تقنية ICI-SC في نظام الجيل الخامس للاتصالات 5G ، وذلك لمعالجة تأثير الإزاحة الترددية على نظام UFMC حيث قاموا باستخدام طريقة تحويل البيانات المقترحة في المرجع [3]، إلا أنهم لم يتطرقوا إلى تقييم أداء هذه الطريقة في معالجة PAPR، كما أنهم لم يتطرقوا إلى تقييم أداء طريقة مرافق البيانات المقترحة في المرجع [4] في نظام UFMC من ناحية PAPR وBER.

2. أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في تطبيق طريقة مرافق البيانات (Data-Conjugate) في نظام UFMC وتقييم أدائها من خلال قياس نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة (PAPR) وقياس معدل خطأ الخانة (BER) ومقارنة النتائج مع طريقة تحويل البيانات (Data-Conversion) ومع نظام UFMC الأساسي وذلك من أجل أنواع تعديل وقيم إزاحة ترددية مختلفة.

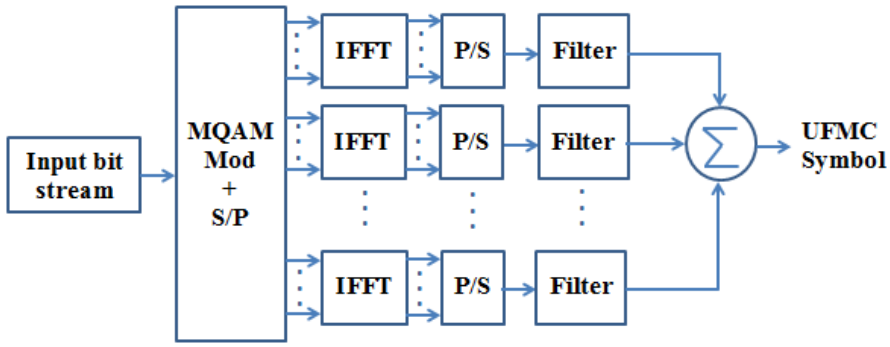
3. الموجز النظري:

1.3. نظام UFMC:

في نظام UFMC يتم تقسيم العدد الكلي للحوامل الفرعية K إلى عدة حزم فرعية (عددها B)، حيث يكون عدد الحوامل الفرعية في الحزمة الفرعية i هو K_i، ثم يتم توزيع رموز المعطيات S_i على الحوامل الفرعية في كل حزمة بواسطة معكوس تحويل فوريه السريع بحجم N، وتعطى العلاقة المعبرة عن إشارة الحزمة الفرعية i في خرج IFFT بالعلاقة(1) [6]:

$$s_i(n) = \frac{1}{N}\sum_{k\in K_i} S_i(k) e^{\frac{j2\pi kn}{N}} \quad : n = 0, \dots, N-1 \qquad (1)$$

بعد تطبيق عملية IFFT على كل حزمة فرعية فإن الإشارة تمر عبر مرشح حزمة بطول L، وأخيراً يتم جمع خرج هذه المرشحات لتشكيل رمز UFMC طوله $N + L - 1$ وإرساله عبر القناة. يعطى المخطط الصندوقي العام لمرسل UFMC بالشكل(1) [7][8].



الشكل(1): المخطط الصندوقي العام لمرسل UFMC

يمكن التعبير عن إشارة UFMC في خرج المرسل بالعلاقة(2) [6]:

$$x(n) = \sum_{i=1}^{B} s_i(n) * f_i(n)$$

$$= \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{B}\sum_{l=0}^{L-1}\sum_{k=0}^{K_i-1} S_i(k)\, f_i(n-l)\, e^{\frac{j2\pi kn}{N}} \quad : n = 0, \dots, N+L-1 \qquad (2)$$

حيث $f_i(n)$ الاستجابة النبضية للمرشح.

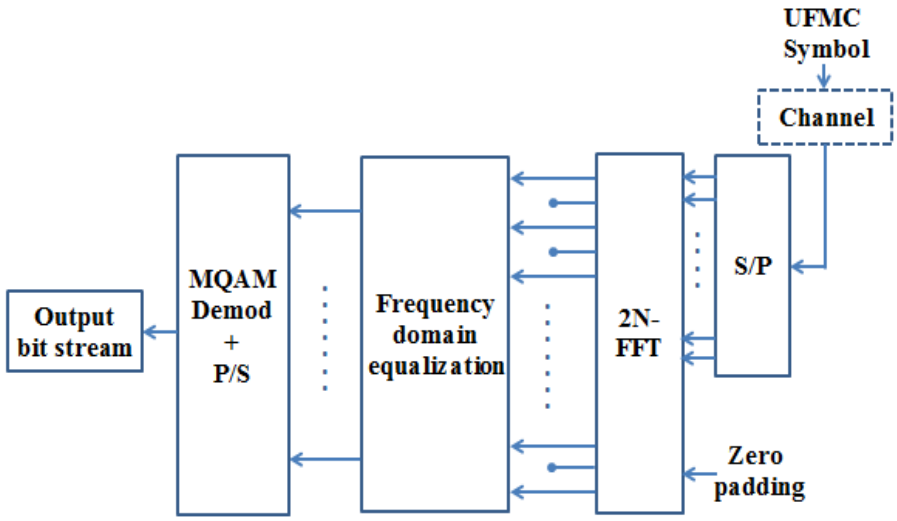
وتُعطى العلاقة المعبرة عن نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة $PAPR$ بالعلاقة(3) [9]:

$$PAPR = 10log_{10}\frac{P_{peak}}{P_{avg}} = 10log_{10}\frac{max\{|x[n]|^2\}}{E\{|x[n]|^2\}} \qquad (3)$$

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

في طرف الاستقبال تطبق الإشارة بعد إضافة أصفار (zero padding) على تحويل فورييه مضاعف 2N-FFT ويتم اختيار الرموز الفردية وتطبيقها على

مسوي لإزالة تشويه المرشح وتقدير الرموز المستقبلة على كل حامل فرعي، وأخيراً يتم فك تعديل الرموز بعد عملية التسوية لاستخلاص البتات المطلوبة. يعطى المخطط الصندوقي العام لمستقبل UFMC بالشكل(2) [7][8].



الشكل(2): المخطط الصندوقي العام لمستقبل UFMC

بفرض أن الرموز المرسلة تعرضت لإزاحة ترددية قدرها ε خلال قناة الاتصال فإنه يمكن التعبير عن الإشارة المستقبلة بعد مرحلة 2N-FFT بالعلاقة(4) [9]:

$$y(m) = \sum_{i=1}^{B} \sum_{k=0}^{K_i-1} S_i(k)\, I(k-m) + w(m) \qquad (4)$$

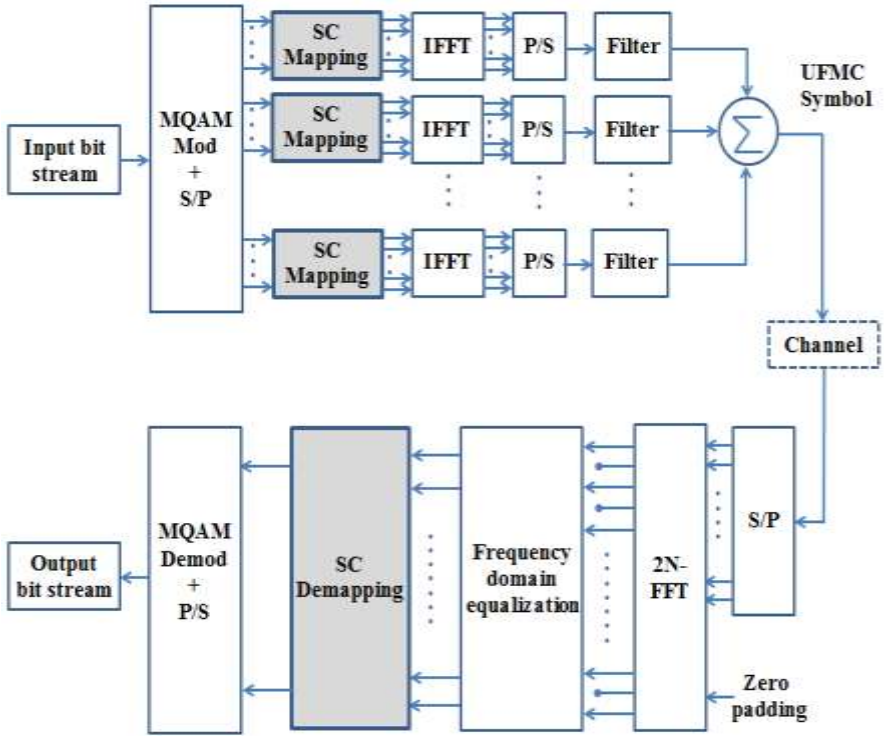
حيث $w(m)$ هي تحويل فورييه السريع لـ $w(n)$ والتي تعبر عن الضجيج الأبيض الغوصي AWGN المقدم خلال قناة الاتصال.

$I(k-m)$ تشير إلى معاملات التداخل بين الحوامل الفرعية ICI، لذلك بتصغير قيمة هذه المعاملات قدر الإمكان نكون قد عالجنا التداخل بين الحوامل الفرعية ICI.

2.3. تقنية الإلغاء الذاتي لـ ICI:

ولدت فكرة هذه التقنية من كَون أن الاختلاف بين معاملات التداخل لحاملين متتابعين صغير جداً وبالتالي يتم إلغاء التداخل ICI الناتج عن الحامل الفرعي الأول من خلال التداخل ICI الناتج عن الحامل الفرعي الثاني.

يوضح الشكل(3) المخطط الصندوقي العام لنظام UFMC مع تقنية الإلغاء الذاتي لـ ICI، حيث يعمل بخطوتين بسيطتين: يتم في طرف الإرسال في مرحلة SC Mapping تعديل الرمز الواحد على مجموعة من الحوامل الفرعية المتجاورة، وفي طرف الاستقبال تتم في مرحلة SC Demapping عملية الدمج الخطي لهذه الإشارات المستقبلة على الحوامل الفرعية حيث تقوم معاملات التداخل بإلغاء بعضها البعض مما يؤدي إلى تخفيض التداخل بين الحوامل الفرعية بشكل كبير.



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

كما ذكرنا بالدراسات المرجعية يوجد عدة تقنيات للإلغاء الذاتي:

1.2.3. طريقة تحويل البيانات Data-Conversion Method [3] [5]:

هذه الطريقة تعتمد على تشكيل رموز المعطيات في الحزمة الفرعية i بالتتابع التالي:

$$S_i(1) = -S_i(0) \ , \quad S_i(3) = -S_i(2) \ , \dots , \quad S_i(N_{BC} - 1) = -S_i(N_{BC} - 2)$$

حيث N_{BC}: عدد الحوامل الفرعية في حزمة فرعية واحدة.

في طرف الاستقبال تُعطى العلاقة المعبرة عن الرموز المستقبلة بالصيغة(5):

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

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

$Y'(m+1)$: الإشارة المستقبلة على الحامل $m+1$.

2.2.3. طريقة مرافق البيانات Data-Conjugate Method [4]:

هذه الطريقة تعتمد على تشكيل رموز المعطيات في الحزمة الفرعية i بالتتابع التالي:

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

حيث S_i^*: المرافق العقدي للرمز S_i.

في طرف الاستقبال تُعطى العلاقة المعبرة عن الرموز المستقبلة بالصيغة(6):

$$Y''(m) = \frac{1}{2}[Y'(m) - Y'^*(m+1)] \qquad (6)$$

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

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

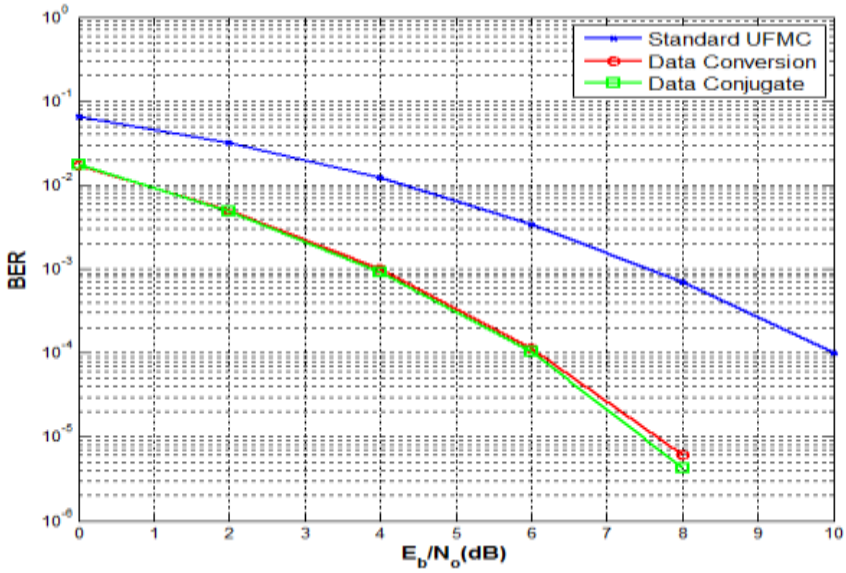
4. المحاكاة والنتائج:

تم استخدام برنامج Matlab لتقييم أداء طريقة مرافق البيانات (Data-Conjugate) في نظام UFMC عن طريق قياس معدل خطأ الخانة BER وقياس نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة PAPR ومقارنة النتائج مع طريقة تحويل البيانات (Data-Conversion) ومع نظام UFMC الأساسي بوجود الإزاحة الترددية خلال القناة. بارامترات المحاكاة مبينة بالجدول(1):

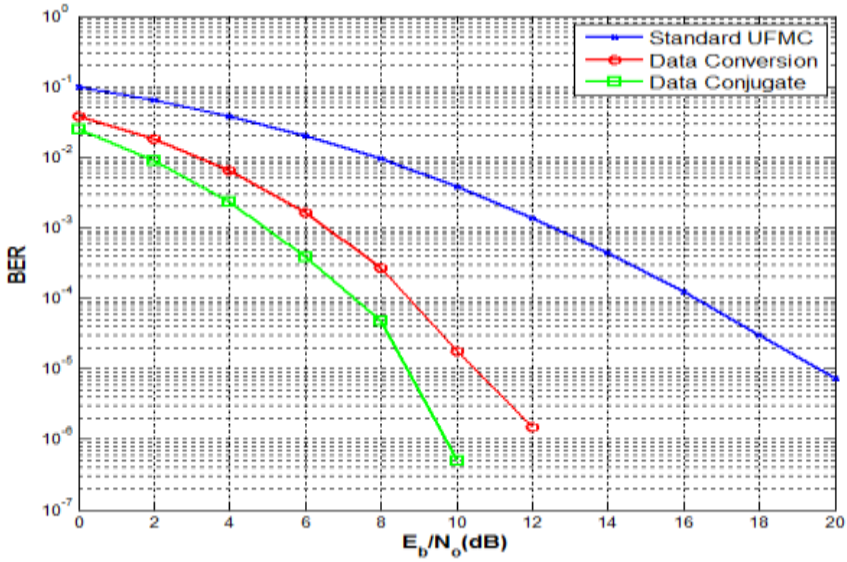
الجدول(1): بارامترات المحاكاة

البارامترات	الخصائص
حجم **FFT**	512
عدد الحزم الفرعية	10
عدد الحوامل الفرعية في كل حزمة فرعية	20
نوع التعديل	**QAM , 16QAM**
قناة الاتصال	**AWGN**
نوع المرشح	**Chebyshev filter**
طول المرشح	43
الإزاحة الترددية	**0.04 , 0.1 , 0.15**
عدد رموز **UFMC**	**10**000

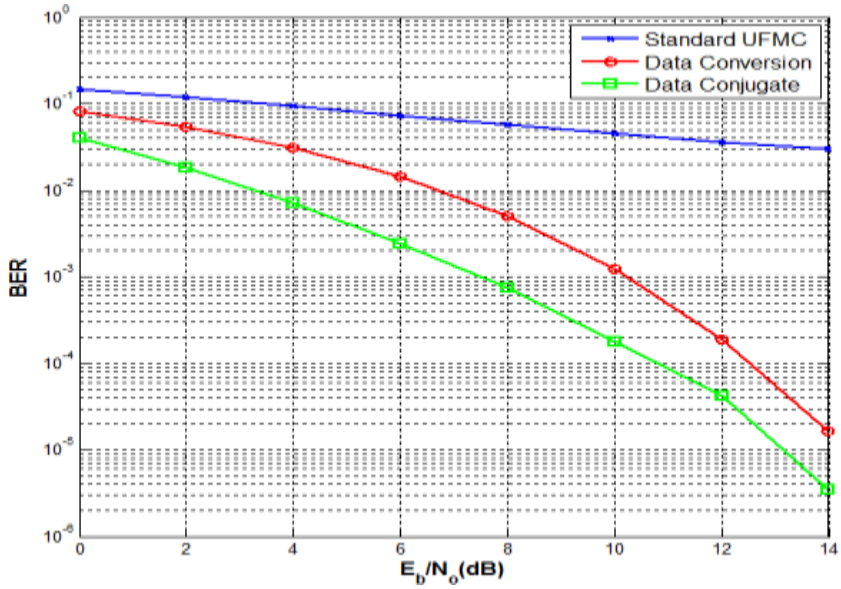
تُبين المنحنيات المبينة في الأشكال(4) و(5) و(6) معدل خطأ الخانة BER لنظام التعديل QAM من أجل قيم مختلفة لـ E_b/N_0 وعند قيم الإزاحة الترددية ε=(0.04, 0.1, 0.15).



الشكل(4): معدل الخطأ للنظام QAM عند انزياح ترددي ε=0.04

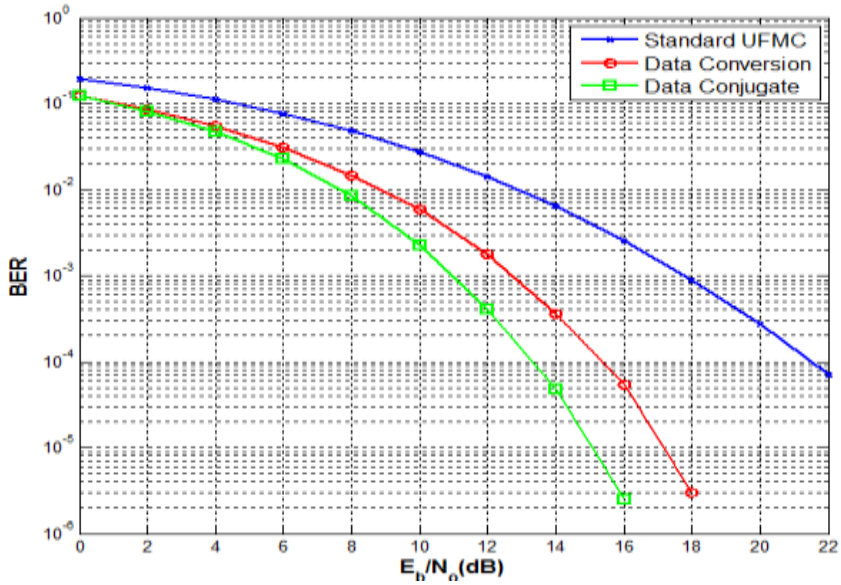


الشكل(5): معدل الخطأ للنظام QAM عند انزياح ترددي ε=0.1

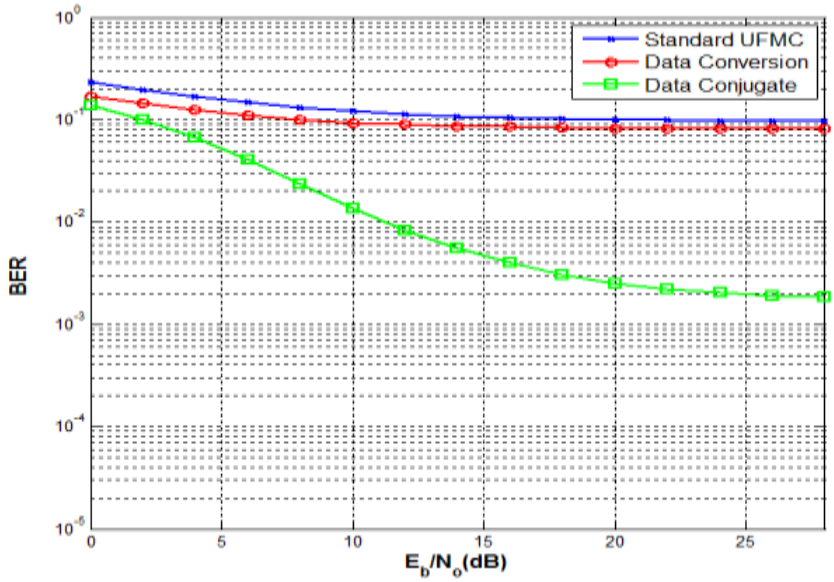


الشكل(6): معدل الخطأ للنظام QAM عند انزياح ترددي ε=0.15

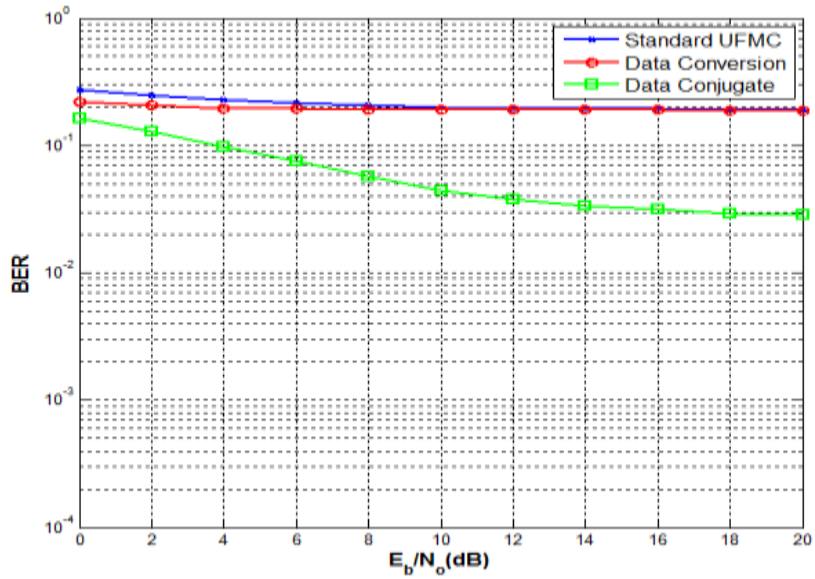
تُبين المنحنيات المبينة في الأشكال(7) و(8) و(9) معدل خطأ الخانة BER لنظام التعديل 16QAM من أجل قيم مختلفة لـ E_b/N_0 وعند قيم الإزاحة الترددية ε=(0.04, 0.1, 0.15).



الشكل(7): معدل الخطأ للنظام 16QAM عند انزياح ترددي ε=0.04



الشكل(8): معدل الخطأ للنظام 16QAM عند انزياح ترددي ε=0.1



الشكل(9): معدل الخطأ للنظام 16QAM عند انزياح ترددي ε=0.15

<u>النتائج:</u> تثبت نتائج المحاكاة في الأشكال السابقة أنه من أجل أنظمة التعديل QAM 16QAM ، وعند جميع قيم الإزاحة الترددية تقدم تقنية مرافق البيانات أداء أفضل من تقنية تحويل البيانات ومن نظام UFMC الأساسي كما هو مبين بالجدول(2).

الجدول(2): نتائج المحاكاة المستخلصة من الأشكال (4)،(5)،(6)،(7)،(8)،(9)

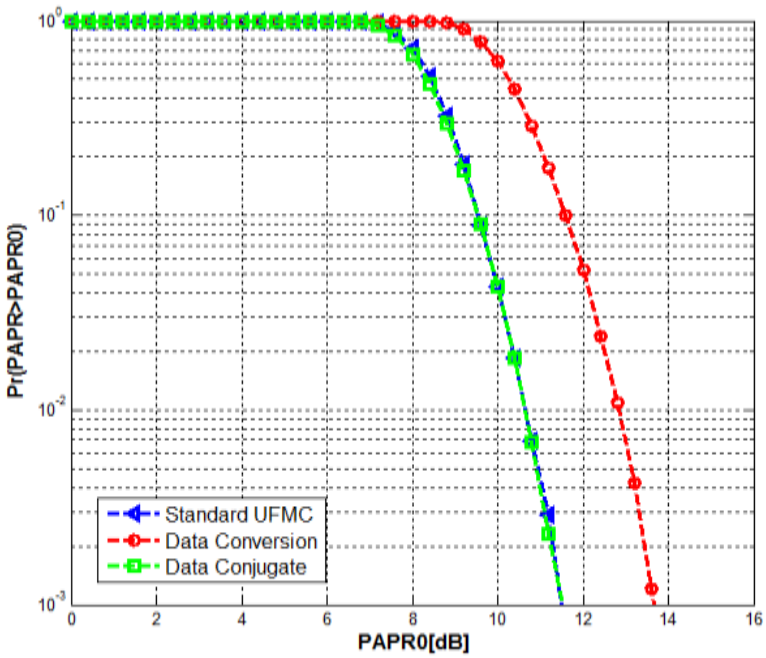
	QAM	16QAM
Method	**Eb/N0 at (ε=0.04, BER=10-4)**	**Eb/N0 at (ε=0.04, BER=10-4)**
Standard UFMC	**10dB**	**21.2dB**
Data Conversion	**6dB**	**15.2dB**
Data Conjugate	**6dB**	**13.2dB**
Method	**Eb/N0 at (ε=0.1, BER=10-4)**	**Eb/N0 at (ε=0.1, BER=10-2)**
Standard UFMC	**16dB**	**None**
Data Conversion	**8.7dB**	**None**
Data Conjugate	**7.2dB**	**11.1dB**
Method	**Eb/N0 at (ε=0.15, BER=10-4)**	**Eb/N0 at (ε=0.15, BER=10-2)**
Standard UFMC	**None**	**None**
Data Conversion	**12.6dB**	**None**
Data Conjugate	**10.8dB**	**None**

تظهر النتائج أنه من أجل نظام التعديل QAM عند قيمة الإزاحة الترددية الصغيرة 0.04 يتقارب أداء طريقة مرافق البيانات (Data-Conjugate) مع أداء طريقة تحويل البيانات (Data-Conversion)، أما من أجل الإزاحة الترددية 0.1 تعطي طريقة مرافق البيانات (Data-Conjugate) ربح بمقدار 8.8dB مقارنة مع نظام UFMC الأساسي وربح بمقدار 1.5dB مقارنة مع طريقة تحويل البيانات (Data-Conversion) وذلك عند معدل خطأ مقداره 10^{-4}، وكذلك الأمر بالنسبة للإزاحة الترددية 0.15 حيث تعطي طريقة مرافق البيانات (Data-Conjugate) ربح أكبر من طريقة تحويل البيانات (Data-Conversion) بمقدار 1.8dB وذلك عند معدل خطأ مقداره 10^{-4}، بينما ينهار أداء نظام UFMC الأساسي عند هذه القيمة للإزاحة الترددية.

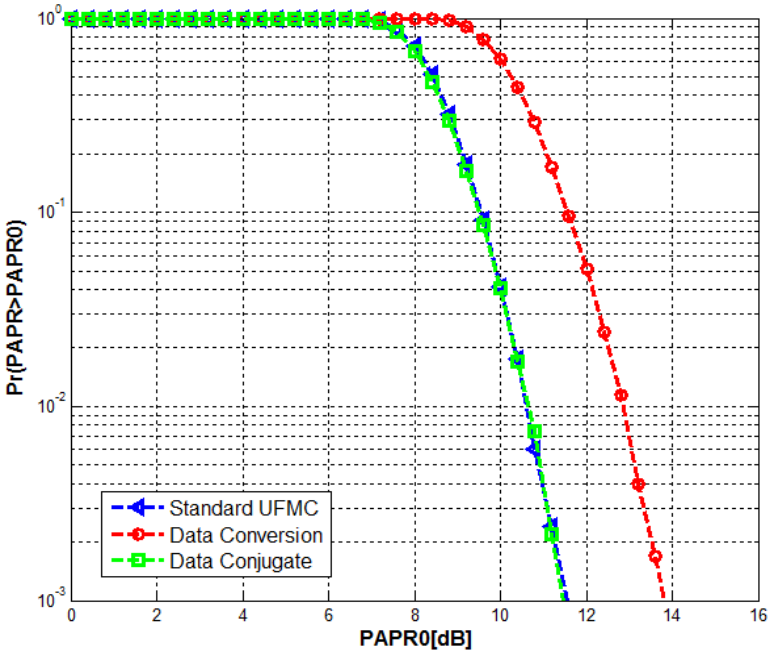
كما تظهر النتائج أنه من أجل نظام التعديل 16QAM عند قيمة الإزاحة الترددية الصغيرة 0.04 تعطي طريقة مرافق البيانات (Data-Conjugate) ربح بمقدار 8dB مقارنة مع نظام UFMC الأساسي وربح بمقدار 2dB مقارنة مع طريقة تحويل البيانات (Data-Conversion) وذلك عند معدل خطأ مقداره 10^{-4}، أما عند قيم الإزاحة الترددية 0.1 و0.15 ينخفض أداء طريقة مرافق البيانات-Data) (Conjugate حيث لا يمكن الوصول لنسبة خطأ 10^{-4}، ولكن يبقى أداء هذه الطريقة في معالجة ICI أفضل من نظام UFMC الأساسي ومن طريقة تحويل البيانات

.(Data- Conversion)

تُبين المنحنيات المبينة في الأشكال(10) و(11) مقارنة بين طريقة مرافق البيانات (Data-Conjugate) وطريقة تحويل البيانات (Data- Conversion) ونظام UFMC الأساسي من ناحية نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة (PAPR) من أجل أنظمة التعديل QAM و16QAM، حيث نلاحظ أن تقنية تحويل البيانات دهورت أداء PAPR، أما تقنية مرافق البيانات لم تحسن نسبة PAPR ولكنها حافظت على نفس النسبة تقريباً كما في نظام UFMC الأساسي، أي أن هذه التقنية حسنت BER بدون التأثير على PAPR.



الشكل(10): مقارنة نسبة PAPR بين طريقة Data-Conjugate وطريقة Data-Conversion ونظام UFMC الأساسي من أجل QAM



الشكل(11): مقارنة نسبة PAPR بين طريقة Data-Conjugate وطريقة Data-Conversion ونظام UFMC الأساسي من أجل 16QAM

5. الخاتمة:

- تم في هذا البحث تطبيق طريقة مرافق البيانات (Data-Conjugate) في نظام UFMC ومقارنة أدائها مع طريقة تحويل البيانات (Data-Conversion) ومع نظام UFMC الأساسي من ناحية PAPR و BER.
- أظهرت نتائج المحاكاة لنظام UFMC مع أنظمة التعديل QAM و 16QAM عند إزاحات ترددية مختلفة أن طريقة مرافق البيانات تعطي BER أفضل من طريقة تحويل البيانات ومن نظام UFMC الأساسي.
- كما أظهرت النتائج أن طريقة تحويل البيانات حسنت BER ولكن على حساب PAPR، أما تقنية مرافق البيانات حسنت نسبة BER بدون التأثير على نسبة PAPR حيث بقيت النسبة مشابهة تقريباً لنسبة PAPR في نظام UFMC الأساسي.
- يمكن أن تكون المقارنة مع الطرق الأخرى لـ ICI-SC موضوعاً لبحث آخر.

المراجع

[1] F.MOLISCH A.,2011- **Wireless Communications.** *John Wiley & Sons Ltd, 2th Ed, USA, 884.*

[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] ZHAO Y.; HAGGMAN S.G.,2001- **Intercarrier Interference Self-Cancellation Scheme for OFDM Mobile Communication Systems.** *IEEE Transactions on Communications,* **Vol(49)**, **No(7)**.

[4] FU Y.; SEOG G.K.; KO C.C.,2002- **A New Scheme for PAPR Reduction in OFDM Systems with ICI Self-Cancellation.** *IEEE 56th Vehicular Technology Conference,* **Vol(3)**, **pp(1418-1421).**

[5] CHEN L.; 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*.

[6] 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)**.

[7] MADHUMITHA J.; SRINIVAS J.,2017- **Improving Quality of Service Using Filters in Universal Filtered Multi Carrier: A performance Analysis.** *International Journal of Innovative Research in Science,Engineering and Technology*, **Vol(6)**, **Issue(11)**.

[8] RAVINDRAN R.; 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*.

[9] RANI P.; BAGHLA S.; MONGA H.A.,2017- **Hybrid PAPR Reduction Scheme for Universal Filter Multi-Carrier Modulation in Next Generation Wireless Systems.** *Advances In Systems Science and Applications (ASSA).*