

دراسة وتقييم أداء نظام النفاذ المتعدد

DFT-FBMC في الجيل الخامس للاتصالات الخلوية

طالب الماجستير: أحمد حجي العيسى

كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية - جامعة حلب

إشراف الدكتور: علي زيد

ملخص البحث

تحتاج شبكات الجيل الخامس لتلبية احتياجات العديد من الخدمات ذات المتطلبات المختلفة، مما يفرض مرونة عالية على الشكل الموجي المستخدم في الطبقة الفيزيائية بحيث يقابل العديد من التحديات ويحقق متطلبات متنوعة ومتوافقة مع احتياجات الخدمات، يهدف البحث إلى تقديم دراسة نظرية عن تقنية النفاذ المتعدد وتشكيل الموجة DFT-FBMC من خلال إجراء دراسة نظرية مرجعية وتجريبية عبر المحاكاة البرمجية باستخدام برمجية MATLAB تهدف إلى تقييم أداء نظام DFT-FBMC ومقارنته مع نظام OFDM والتركيز على دراسة معدل الخطأ في البت، والكثافة الطيفية مع تغيير نوع المرشح المستخدم في نظام DFT-FBMC. بينت نتائج الدراسة التجريبية أن أداء نظام DFT-FBMC أفضل من نظام OFDM من حيث معدل الخطأ في البت ومن أجل .PAPR.

الكلمات المفتاحية نفاذ متعدد، تقسيم زمن، تقسيم تردد، إرسال متعدد الحوامل، بنك المرشحات، معدل الخطأ في البت، نسبة الإشارة إلى الضجيج، مرشح PHYDYAS، مرشح Hermite

Study and evaluation of the performance of DFT-FBMC in 5G of cellular communications

Abstract

Fifth generation networks need to meet the needs of many services with different requirements, which imposes high flexibility on the waveform used in the physical layer so that it meets many challenges and achieves various requirements compatible with the needs of services, the research aims to provide a theoretical study on the technology of multiple access and waveform DFT -FBMC by conducting a theoretical and experimental study via software simulation using MATLAB software aimed at evaluating the performance of the DFT-FBMC system and comparing it with the OFDM system and focusing on studying the bit-error rate, spectral density with changing the type of filter used in the DFT-FBMC system. The results of the pilot study showed that the performance of DFT-FBMC system is better than OFDM system in terms of bit error rate and for PAPR.

Keywords multiple access, time division, frequency division, multicarrier transmission, filter bank, bit error rate, signal-to-noise ratio, PHYDYAS filter, Hermite filter

1- مقدمة

يتطلب تشارك مستخدمي شبكة ما بالخدمات المتاحة لهم نفاذ عدد كبير ومتغير منهم إلى موارد الشبكة على نحو آني ومتزامن. يقتضي هذا النفاذ الآني توفر آليات مناسبة لتنسيق ولوج المشتركين إلى الشبكة، والأولويات التي يخضعون لها، بحيث يتم تزويد أكبر عدد ممكن منهم بالخدمات، مع إشغال أقل ما يمكن من موارد ومقدرات الشبكة. تستخدم موارد الشبكة الخلوية (التردد - الزمن - الطاقة) لعدة أغراض الأول هو تأمين اتصال مزدوج الاتجاه (Duplexing) والثاني هو تنسيق استخدام المشتركين ضمن الشبكة لهذه الموارد (Multiple Access).

2- هدف البحث

يهدف البحث إلى دراسة طرق النفاذ المتعدد بشكل عام والمستخدم في أنظمة الاتصالات الخليوية بشكل خاص.

1. دراسة مرجعية لأنظمة النفاذ المتعدد المعتمدة على الحوامل المتعددة المتعامدة.
2. دراسة مرجعية لأنظمة النفاذ المستخدمة في الجيل الرابع والخامس والتي تعتمد على أنظمة التعديل والإرسال متعدد الحوامل (OFDMA - DFT-FBMC).
3. تقييم أداء DFT-FBMC ومقارنته مع بقية الأنظمة

3- أهمية البحث

تكمن أهمية البحث في إجراء دراسة مرجعية ومقارنة بين أنظمة النفاذ المختلفة وكيفية تطورها ومواكبتها لأنظمة الاتصالات الخليوية بدءاً من النفاذ المتعدد بتقسيم التردد المستخدم في الجيل الأول وصولاً إلى طرق تشكيل الموجة والنفاذ المتعدد بالحوامل

الترددية المتعامدة المستخدمة في الجيلين الرابع والخامس. ومن ثم تسليط الضوء على تقنيات النفاذ في الجيل الخامس وبالأخص FBMC وإجراء محاكاة وتقييم أداء لنظام DFT-FBMC والذي يتخلص من بعض سلبيات FBMC ويجمع معها ميزات SC-FDMA.

4- مواد وطرق البحث

تم البحث من خلال إجراء دراسة نظرية مرجعية لأنظمة النفاذ المتعدد مع التركيز على آلية عمل كل منها ومن ثم دراسة تقنيات النفاذ التي تعتمد على الحوامل المتعددة المتعامدة. لينتقل البحث بعدها لإجراء محاكاة ضمن بيئة برمجية MATLAB من أجل تقييم وتحليل أداء نظام DFT-FBMC و مقارنته مع OFDM.

5- تقنيات النفاذ المتعدد المعتمدة على الحوامل المتعددة

استعرضنا في الفقرات السابقة تقنيات النفاذ المتعدد المستخدمة في الأجيال الأولى والثاني والثالث من أنظمة الاتصالات الخليوية، ونبين في الفقرات الآتية تقنيات النفاذ المتعدد المستخدمة في الأجيال الرابع والخامس.

5-1- التضميم بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM

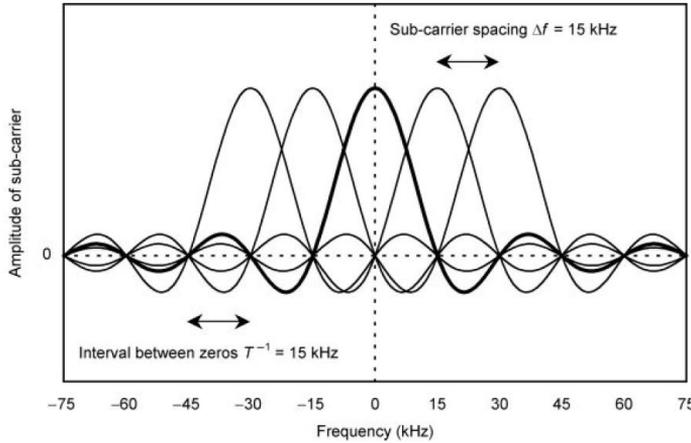
تعتمد أنظمة LTE للنفاذ المتعدد طريقة الحوامل المتعددة المتعامدة. حيث تستخدم تقنية OFDMA على الوصلة الهابطة نظراً لفعاليتها الطيفية العالية وتقنية SC-FDMA على الوصلة الصاعدة لانخفاض نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة PAPR مقارنة بـ OFDMA.

تقوم الـ OFDM بتوزيع الإشارة عريضة الحزمة على عدة حوامل فرعية ضيقة الحزمة، تكون هذه الحوامل متقاربة بمسافة فصل أصغرية بحيث تبقى متعامدة فيما بينها في

المجال الترددي، فبدلاً من إرسال المعطيات بدفقة واحدة يقوم مرسل OFDM بإرسال المعطيات على شكل دفقات جزئية ترسل كل منها على حامل فرعي مختلف، مما يؤدي إلى فعالية طيفية عالية مقارنة بـ FDMA وتداخل أقل مقارنة بـ CDMA. يمكن تخصيص مجموعات مختلفة من الحوامل للإرسال إلى عدة مستخدمين. [8]

إذا تم الإرسال بـ OFDM مع المحافظة على معدل النقل نفسه عند الإرسال بحامل وحيد عريض الحزمة، عندئذ يكون معدل النقل بالنسبة لكل حامل فرعي أقل وهذا يؤدي إلى زيادة مدة الرمز مما يقلل من معدل الخطأ ويقلل التداخل بين الرموز ISI الناتج عن تأخير تعدد المسارات.

الشكل (1) يبين الحوامل المتعامدة في OFDM حيث تبدو التعامدية من خلال تقاطع قمة الحامل الفرعي مع أصفار من الحوامل الفرعية المجاورة.



الشكل (1): الحوامل المتعامدة في OFDM

يمكن تلخيص مزايا OFDM بالنقاط التالية:

- تحد الـ OFDM من الطبيعة الانتقائية في التردد للقناة اللاسلكية عريضة الحزمة، حيث تحولها إلى عدة قنوات فرعية ضيقة الحزمة ذات استجابة مستوية Flat fading sub channel. يبسط ذلك من عملية تسوية القناة مما يخفض من تعقيد المستقبل.
- يخضع كل حامل فرعي إلى تخميد مستقل عن بقية الحوامل مما يعطي تنوع في التردد Frequency Diversity.
- فعالية طيفية عالية بفضل استخدام مسافة فصل أصغرية بين الحوامل مع الحفاظ على التعامد دون وجود مجالات الحماية بين الحوامل كما هو الحال في FDMA المستخدمة في GSM.
- تحل مشكلة تعدد المسارات التي تؤدي للتداخل في الرمز ISI التي تعاني منها تقنية WCDMA، وذلك بفضل استخدام البادئة الدوارة والإرسال بمدة رمز كبيرة نسبياً ($66.7\mu s$) مقارنة مع مدة الرمز ($3.69\mu s$) في GSM ومدة رمز ($0.26\mu s$) في WCDMA.
- مرونة تخصيص الموارد وجدولتها.

وتعاني الـ OFDM من بعض السلبيات وهي:

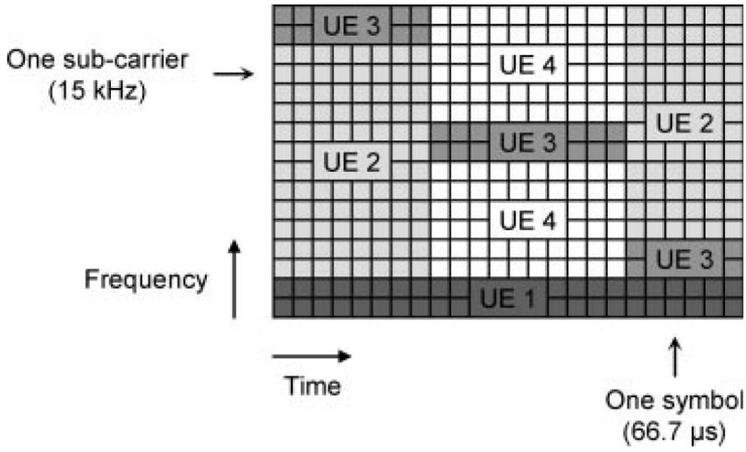
- الحساسية لأخطاء التزامن في التردد مما يؤدي إلى التداخل بين الحوامل الفرعية. [9]
- نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة الوسطى PAPR مرتفعة. [9]

من أجل كل حامل فرعي مخصص للمستخدم يقوم المستقبل قبل فك التعديل بعملية تقدير حالة القناة والتسوية، حيث يقوم مرسل OFDM بإرسال رموز مرجعية ضمن

المعطيات المرسله تحمل معلومات عن حالة القناة، يستخدم المستقبل الرموز المرجعية لإزالة أثر القناة على الإشارة من تغيرات في المطال وانزياحات في الطور. عادة ما تكون تغيرات المطال وانزياحات الصفحة تابعة للتردد والزمن، لذلك لكي يتمكن المستقبل من تقدير القناة بشكل صحيح يقوم المرسل ببغثرة الرموز المرجعية عبر الزمن والتردد [6]

5-2- النفاذ المتعدد بالحوامل المتعامدة OFDMA

تقوم التقنية OFDMA المستخدمة في الوصلة الهابطة بتقسيم الزمن بين المستخدمين بالإضافة إلى التقسيم الترددي حيث تقوم المحطة القاعدية بالإرسال إلى عدة مستخدمين في لحظات زمنية مختلفة وترددات مختلفة بما يلبي حاجة كل خدمة. يبين الشكل (2) مثلاً على تقسيم الموارد باستخدام OFDMA فعلى سبيل المثال المستخدم UE1 يستقبل دفقة صوت VoIP وهذا يتطلب معدل نقل منخفض نسبياً وبالتالي بحاجة إلى عدد قليل من الحوامل الجزئية (2 SC) ولكنه يتطلب استمرارية في الإرسال لذلك يخصص له عدد كبير نسبياً من الحصص الزمنية (24 TS) من جهة أخرى نجد أن المستخدم UE2 يقوم بتحميل ملف وكونه لا يستقبل معطيات بالزمن الحقيقي ترسل المعطيات إليه على شكل رشقات بمعدل نقل مرتفع فيخصص له عدد أكبر من الحوامل الجزئية (12 SC) وعدد أقل من الحصص الزمنية (8 TS).



الشكل (2): تقسيم الموارد الزمنية والترددية في OFDMA

يمكن للمحطة القاعدية أيضاً أن تخصص الحوامل الجزئية والحصص الزمنية بالاعتماد على قوة الإشارة التي يستقبلها المستخدم على كل حامل جزئي خلال حصة زمنية معينة. فمثلاً المستخدم UE3 في الشكل (2) يتقبل دفقة VoIP ولكنه يعاني من الخفوت على بعض الحوامل الجزئية خلال فترات معينة، تستجيب المحطة القاعدية لمثل هذه الحالة بتخصيص الحوامل الجزئية التي تكون فيها الإشارة المستقبلية أقوى مقارنة ببقية الحوامل ويتم تغيير هذه الحوامل عبر الزمن بما يوافق تغيرات الخفوت مع التردد والزمن. وبنفس الأسلوب يتم إرسال المعطيات إلى المستخدم UE4 باستخدام كتلتين منفصلتين من الحوامل الجزئية يفصل بينهما كتلة من الحوامل الجزئية التي تعاني فيها الإشارة المستقبلية من الخفوت. [6]

5-3- النفاذ المتعدد بالتقسيم الترددي وحيد الحامل SC-FDMA

يعتبر ارتفاع النسبة PAPR أحد الصفات السلبية في OFDMA. والنسبة PAPR بالتعريف هي نسبة الاستطاعة العظمى لعينة من رمز OFDM إلى الاستطاعة الوسطى لهذا الرمز. وتنتج الذروة من جمع الإشارات المرسل على الحوامل الفرعية المختلفة

لإعطاء شكل موجي واحد بالمجال الزمني، ينتج عن جمع هذه الاستطاعات استطاعة مرتفعة في المجال الزمني أعلى بكثير من استطاعة الإشارة التي تحمل المعطيات. يتطلب الإرسال والإستقبال عند استخدام OFDMA مع النسبة المرتفعة لـ PAPR محول DAC عالي الدقة لدى المرسل ومحول ADC عالي الدقة لدى المستقبل، وإلا فإن إشارة المعطيات ستعاني من مشكلات التشوه. لذلك يعتبر الإرسال بنسبة PAPR منخفضة أمراً مرغوباً. [9]

أن مرسل SC-FDMA هو عبارة عن مرسل OFDMA مسبق بتحويل فورييه السريع FFT الذي يغير طريقة توزيع الرموز على الحوامل الفرعية المختلفة. حيث يقوم تحويل فورييه السريع بمزج الرموز مع بعضها ضمن عدة حوامل لتقليل النسبة PAPR مع الحفاظ على إمكانية استعادتها بتحويل فورييه السريع العكسي IFFT في طرف الاستقبال.

5-4- طرق تشكيل الموجة والنفاذ المتعدد في الجيل الخامس

يتم تشكيل الموجة والنفاذ المتعدد في الجيل الخامس بعدة طرق أهمها:

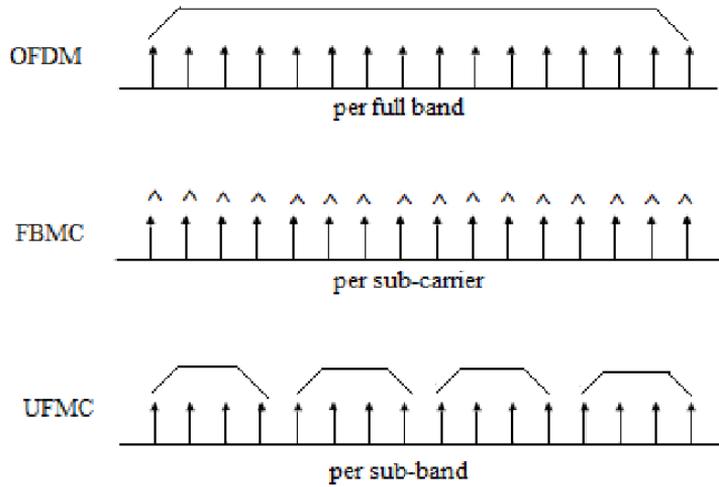
5-4-1- تقنية الحوامل المتعددة المرشحة ببنك المرشحات FBMC

المبدأ الأساسي لتقنية FBMC هو تقسيم كتلة المعطيات الكبيرة إلى مجموعة من كتل المعطيات الصغيرة، وإرسالها عبر بنك من المرشحات المعدلة. يجري تصميم الشكل الأولي للمرشح بمعامل تداخل معين، ويتم اختيار هذا المعامل بحيث نحصل على نسبة قليلة جداً من تسرب القنوات المجاورة، وبذلك التقليل قدر الإمكان من التداخل بين القنوات المتجاورة. [13]

5-4-2- تقنية الحوامل المتعددة المرشحة العامة UFMC

يمكن اعتبار تقنية UFMC حلاً وسطياً بين تقنيتي FBMC و CP-OFDM. ففي تقنية CP-OFDM يتم ترشيح كامل الرمز، وفي تقنية FBMC يتم ترشيح كل حامل جزئي من الرمز بمفرده. بينما في تقنية UFMC يتم تقسيم الحزمة الكلية (رمز المعطيات) إلى مجموعة من الحزم الجزئية وكل حزمة جزئية تحتوي على مجموعة من الحوامل الجزئية، ثم يتم ترشيح كل حزمة جزئية. هذه الإجراءات تقلل التعقيد مقارنة مع FBMC من جهة، وتزيد من الفعالية الطيفية مقارنة مع CP-OFDM من جهة أخرى. [14]

يبين الشكل (3) الفرق بين التقنيات (OFDM - FBMC - UFMC)



الشكل (3): الفرق بين التقنيات (OFDM - FBMC - UFMC)

6- نظام DFT-FBMC

في البداية نقدم شرح عن نظام FBMC كونه يعتبر الأساس لنظام DFT-FBMC في نظام FBMC يتم إرسال مجموعة من الرموز عبر بنك من المرشحات التركيب كما هو الحال في نظام، OFDM لكن يكمن الفارق الأساسي في اختيار المرشح الأولي المستخدم

في بناء مرشحات التركيب والتحليل، والذي يسمح بتداخل كل قناة مع القنوات المجاورتين مباشرة لتلك القناة لذا لا يتم ارسال رموز QAM العقدية بشكل مباشر بل إنها بحاجة إلى معالجة مسبقة يتم فيها فصل الجزء الحقيقي عن الجزء التخيلي.

المرشح الأولي

يعتمد الارسال الرقمي بشكل أساسي على نظرية نيكويست، والتي تنص على أن تكون الاستجابة النبضية المكافئة لمرشح الارسال ومرشح الاستقبال معدومة عند مضاعفات زمن الرمز، وهذا يترجم في المجال الترددي إلى شرط التناظر حول تردد القطع الذي يساوي بدوره نصف معدل إرسال الرموز. يتم فصل مرشح نيكويست العام إلى مرشحين، يستخدم الأول في الارسال ويستخدم الآخر في الاستقبال لتأمين مرشح توافق، لذا فإن شرط التناظر يتم تحقيقه عند مربعات ثوابت المرشح.

يعتبر المرشح الأولي هو العنصر الأساسي في نظام FBMC لأن كل من مرشحات التركيب والتحليل في المرسل والمستقبل هي عبارة نسخ مزاحة في التردد عنه، لذا فإن جودة نظام FBMC تعتمد بشكل أساسي على خصائص المرشح الأولي المستخدم، فهو يحدد الترابط بين الرموز من جهة ومتانة النظام في ظل وجود القنوات الانتقائية في التردد من جهة أخرى.

لا يوجد تعريف فريد لـ FBMC-QAM. فعند التضحية بالتموضع الترددي يصبح مخطط التشكيل أسوأ من OFDM من حيث انبعاثات OOB. وبالإمكان التضحية بالتعمد من أجل الحصول على تباعد زمني-تردد $TF = 1$ وتموضع بالتردد والزمن (time-frequency localization).

أنواع المرشحات:

المرشح **Hermite**: يستند مرشح نموذج أولي محتمل لـ FBMC-QAM على كثير

حدود هرميتي $H_n(\cdot)$, كما يلي: [7]

$$p(t) = \frac{1}{\sqrt{T_0}} e^{-2\pi(t/T_0)^2} \sum_{i=\{0,4,8,12,16,20\}} a_i H_i(2\sqrt{\pi}t/T_0) \dots (1)$$

التي يمكن فيها العثور على المعاملات لتكون:

$$\begin{aligned} a_0 &= 1.412692577 & a_{12} &= -2.2611 \cdot 10^{-9} \\ a_4 &= -3.0145 \cdot 10^{-3} & a_{16} &= -4.4570 \cdot 10^{-15} \\ a_8 &= -8.8041 \cdot 10^{-6} & a_{20} &= 1.8633 \cdot 10^{-16} \end{aligned}$$

$$\text{Orthogonl: } T = T_0; F = 2/T_0 \rightarrow TF = 2$$

$$\text{Localization: } \sigma_t = 0.2015T_0; \sigma_f = 0.403T_0^{-1}$$

هذه النبضة الهرميتية لديها نفس الشكل في الزمن والتردد، مما يسمح لنا باستغلال التناظر. التناظر. علاوة على ذلك، فإنه يعتمد على نبضة غاوسية وبالتالي لديه تموضع مشترك جيد في الزمن والتردد $\sigma_t \sigma_f = 1.02 \times 1/4 \pi$ تقريباً يكون جيد كما في الحد $\sigma_t \sigma_f \geq 1/4 \pi \approx 0.08$

المرشح PHYDYAS: يستند مرشح واحد آخر يدعى مرشح ذو نموذج

PHYDYAS يعبر عنه بالشكل: [7]

$$p(t) = \begin{cases} \frac{1 + 2 \sum_{i=1}^{O-1} b_i \cos\left(\frac{2\pi t}{OT_0}\right)}{O\sqrt{T_0}} & \text{if } -\frac{OT_0}{2} < t \leq \frac{OT_0}{2} \dots (2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

يتم حساب المعاملات b_i بالاعتماد على عامل التراكم O (overlapping factor)

على سبيل المثال، بالنسبة لعامل تراكم $O = 4$ لدينا:

$$b_1 = 0.97195983 \quad b_2 = \sqrt{2}/2 \quad b_3 = 1.412692577$$

$$\text{Orthogonl: } T = T_0; F = 2/T_0 \rightarrow TF = 2$$

$$\text{Localization: } \sigma_t = 0.2745T_0; \sigma_f = 0.328T_0^{-1}$$

مقارنةً بمرشح Hermite النموذجي، يتمتع عامل ترشيح PHYDYAS بتموضع ترددي

أفضل ولكن تموضع أسوأ بالنسبة للزمن. التموضع الزمني-الترددي المشترك $\sigma_t \sigma_f = 1.13 \times 1/4 \pi$ هو أسوأ كذلك.

يبين الشكل (4) بنية نظام DFT-FBMC حيث يتم بناء هذا النظام على نظام FBMC مع إضافة ترميز مسبق للرموز قبل دخولها لمرسل FBMC ومن ثم يتم إجراء فك الترميز المعاكس على خرج مستقبل.

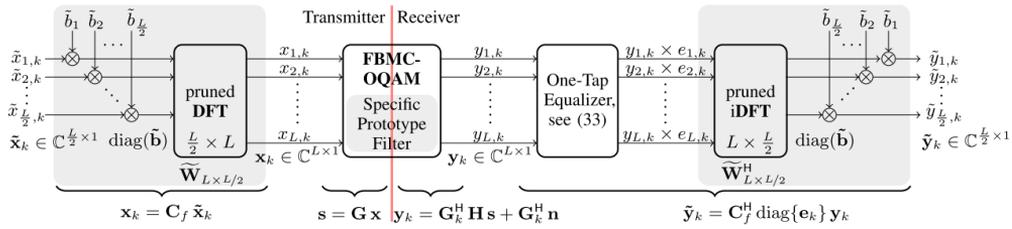
يتم في البداية نثر $L/2$ رمز معطيات عقدي على L حامل ترددي فرعي، وبالتالي تعطى رموز FBMC في اللحظة k بالعلاقة:

$$x_k = C_f \tilde{x}_k \dots (3)$$

حيث: C_f مصفوفة النثر الترددية تعطى بالعلاقة:

$$C_f = W_{L \times \frac{L}{2}} \text{diag}\{\tilde{b}\} \dots (4)$$

حيث: $W_{L \times \frac{L}{2}}$ مصفوفة تحويل فورييه المتقطع و \tilde{b} شعاع توزيع رموز المعطيات \tilde{x}_k أما في طرف الاستقبال فيتم استقبال الرموز من خرج مستقبل FBMC ومن ثم إجراء تسوية لكل قناة فرعية على حدة وبعدها يتم إجراء تحويل فورييه المتقطع العكس وعمليات التوزيع اللازمة.



الشكل (4): مخطط صندوقي لنظام DFT-FBMC [15]

تجمع تقنية DFT-FBMC بين مزايا FBMC-OQAM و SC-FDMA. حيث تتمتع بنفس نسبة الاستطاعة العظمى إلى المتوسطة (PAPR) مثل SC-FDMA ولكنها لا تتطلب بادئة دورية (CP) ولديها إرسالات خارج النطاق (OBB) أقل بكثير.

7- النتائج ومناقشتها

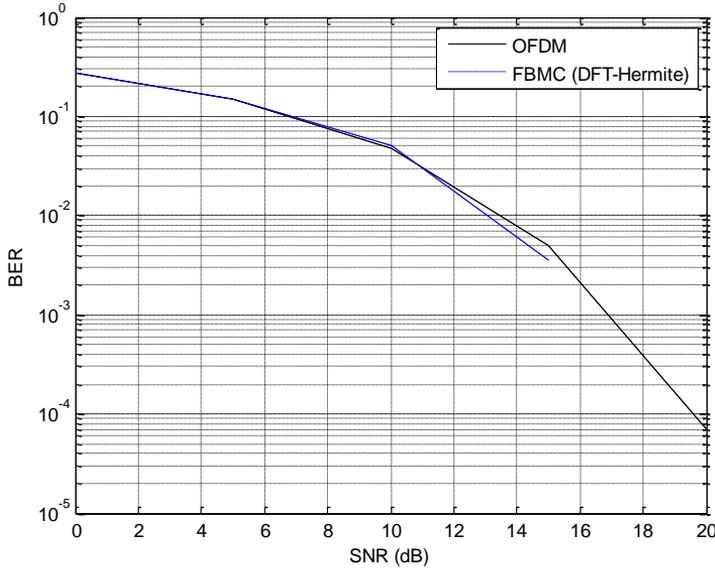
نقوم بمحاكاة نظام DFT-FBMC وتقييم أداءه بالمقارنة مع نظام OFDM. يتم تقييم الأداء من حيث عدة أمور مهمة وهي:

✓ معدل خطأ البت (BER)

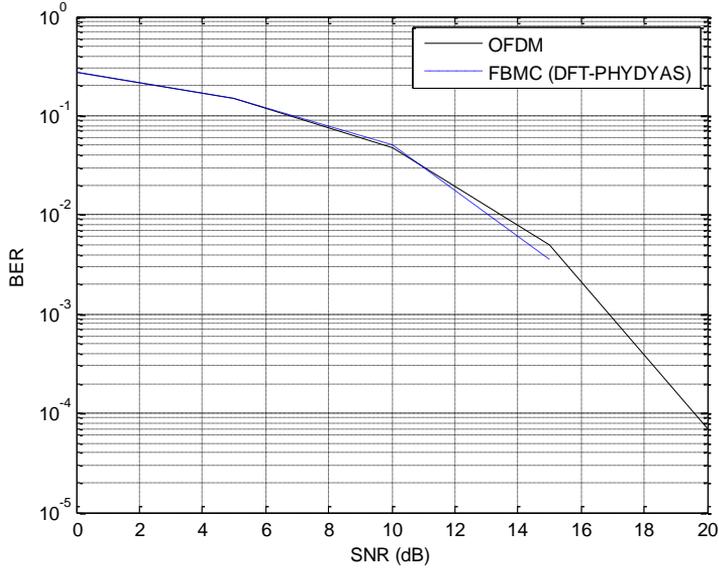
✓ الكثافة الطيفية (PDS)

7-1- محاكاة أداء معدل خطأ البت

نقوم في هذا الجزء من المحاكاة بمقارنة أداء FBMC باستخدام DFT مع نظام OFDM من حيث BER وذلك من أجل SNR متغيرة. سنقوم بتثبيت عدد الحوامل الترددية في المحاكاة إلى 256 حامل ترددي، كما سنقوم بتغيير سرعة الطرفية. نقوم بدايةً باعتبار الطرفية ثابتة، ونقوم الآن بإجراء المحاكاة من أجل المرشح Hermite باستخدام DFT الشكل (5) فنلاحظ أنه من أجل $SNR > 15 \text{ dB}$ يكون معدل الخطأ معدوم تقريباً. ونفس النتائج نحصل عليها من أجل المرشح PHYDYAS الشكل (6).

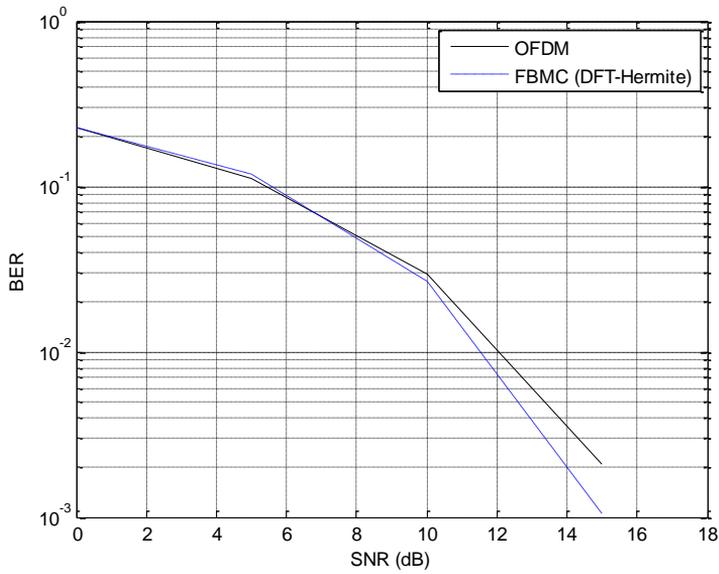


الشكل (5): معدل خطأ البت لنظام FBMC، مرشح DFT-Hermite.

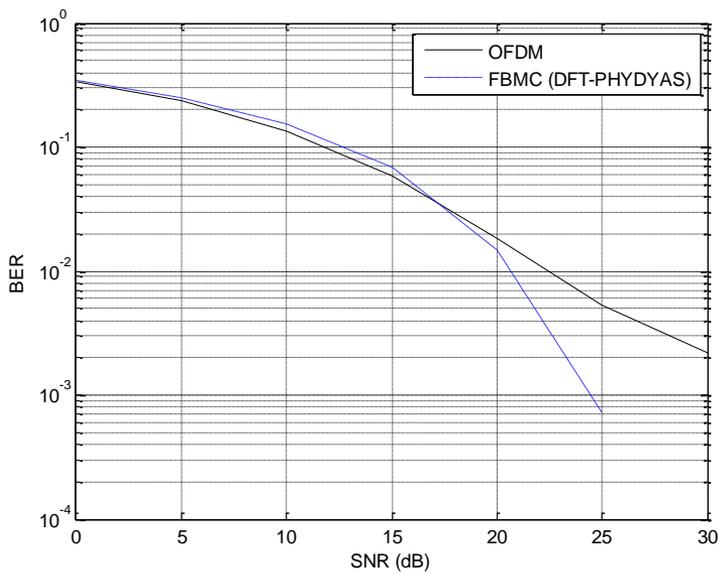


الشكل (6): معدّل خطأ البت لنظام FBMC، مرشّح PHYDYAS-DFT.

نقوم الآن بزيادة سرعة الطرفية إلى 50 Km/h، نلاحظ أن الأداء يتحسن ويصبح أفضل، فمن أجل Hermite-DFT الشكل (7) نجد أنّ الأداء أفضل بـ 1 dB من أجل $BER = 2 \times 10^{-3}$. أمّا من أجل PHYDYAS-DFT الشكل (8) فإنّ الأداء أفضل بأكثر من 5 dB من أجل $BER = 10^{-3}$.

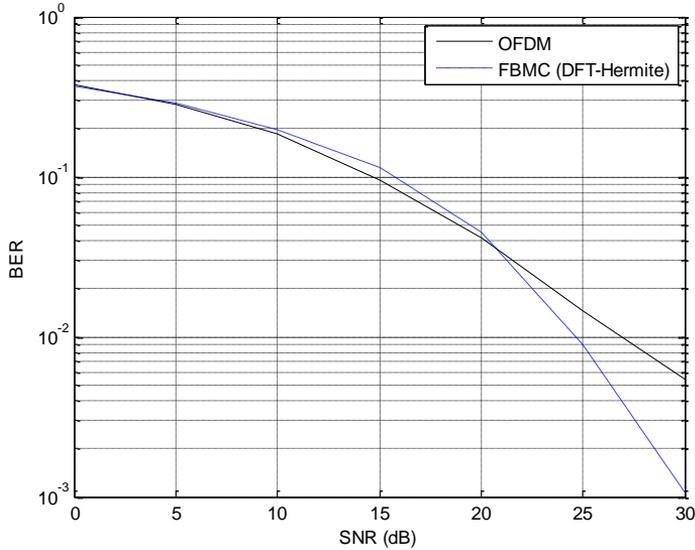


الشكل (7): معدّل خطأ البت لنظام FBMC، مرشح Hermite-DFT، سرعة طرفية 50 .Km/h

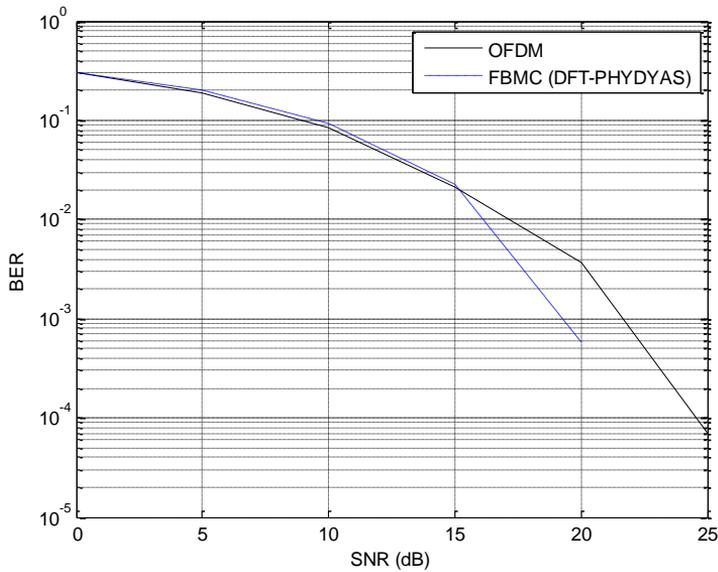


الشكل (8): معدّل خطأ البت لنظام FBMC، مرشّح PHYDYAS-DFT، سرعة طرفيّة 50 Km/h.

نقوم برفع سرعة الطرفيّة إلى 100 Km/h، ونقوم بالمقارنة بين OFDM ونظام FBMC مع Hermite-DFT، PHYDYAS-DFT، نلاحظ أنّ Hermite-DFT يعطي أداء أفضل بـ 2 dB من أجل $BER = 2 \times 10^{-3}$ ومن أجل PHYDYAS-DFT الشكل (9) فإنّ الأداء أفضل بـ 3 dB من أجل $BER = 3 \times 10^{-3}$ الشكل (10). وبالتالي نجد أنّ معدّل خطأ البت يصبح أفضل باستخدام DFT ضمن نظام FBMC.



الشكل (9): معدّل خطأ البت لنظام FBMC، مرشّح Hermite-DFT، سرعة طرفيّة 100 Km/h.

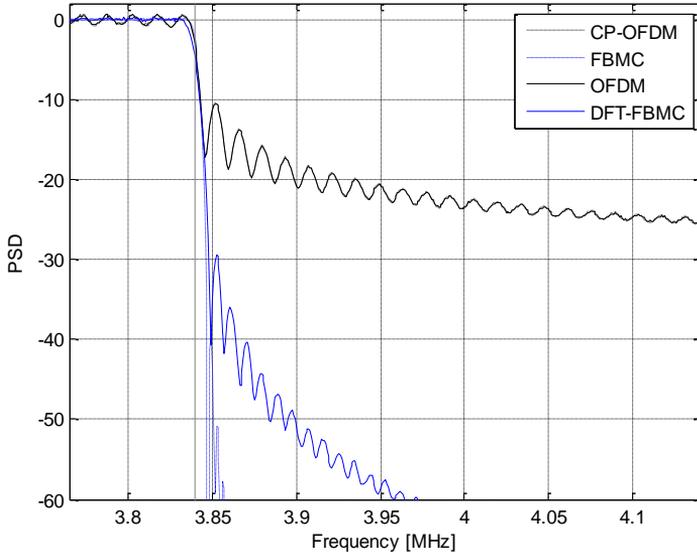


الشكل (10): معدل خطأ البت لنظام FBMC، مرشح PHYDYAS-DFT، سرعة طرفية 100 Km/h.

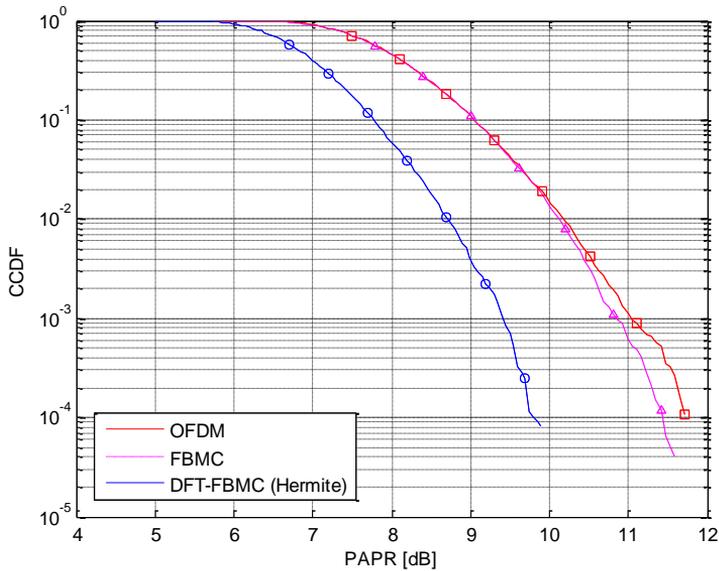
2-7- محاكاة الكثافة الطيفية

وجدنا في النتائج السابقة أن أفضل أداء لنظام FBMC كان باستخدام DFT، نقوم هنا بمحاكاة Power Spectrum Density (PSD) لنظام FBMC من أجل عدد حوامل 256 وتعديل 16-OQAM ومرشح Hermite، فنجد في الشكل (11) أن مستوى الترددات الجانبية في الطيف أقل بكثير من نظام OFDM ولكن عند استخدام DFT فإن مستوى الترددات الجانبية يصبح أعلى بقليل إلا أنه بجميع الأحوال أفضل بكثير من نظام OFDM. وبمقارنة مستوى PAPR بين نظامي OFDM و FBMC نجد أن مستوى PAPR من أجل FBMC أقل بـ 2 dB من أجل $CCDF = 10^{-4}$ وذلك من أجل Hermite الشكل (12)، أما في حال استخدام PHYDYAS الشكل (13) فإن مستوى

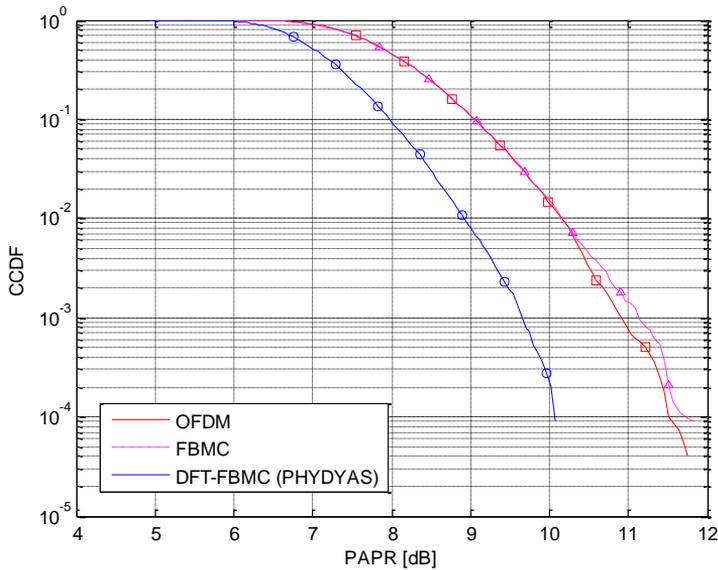
PAPR أعلى من حالة استخدام Hermite. وبالتالي فإن استخدام مرشح Hermite يعطي PAPR أقل من حالة استخدام PHYDYAS.



الشكل (11): مقارنة PSD بين نظام OFDM ونظام FBMC.



الشكل (12): مقارنة أداء PAPR من أجل FBMC و OFDM، مرشح Hermite.



الشكل (13): مقارنة أداء PAPR من أجل FBMC و OFDM، مرشح PHYDYAS

8- الاستنتاجات والتوصيات

- أداء نظام DFT-FBMC أفضل من أداء نظام OFDM من حيث معدل الخطأ في البت من أجل المرشحات PHYDYAS و Hermite.
- المحاكاة تبيّن أنّ أداء OFDM (من حيث معدل الخطأ في البت) يصل إلى مستويات $BER = 10^{-4}$ وذلك من أجل $SNR = 20 dB$.
- ونلاحظ أنّ أداء DFT-FBMC من أجل $SNR > 15 dB$ يكون معدل الخطأ معدوم تقريباً وذلك من أجل طرفيات ثابتة.
- تظهر المحاكاة أنّ أداء DFT-FBMC (من حيث معدل الخطأ في البت) من أجل طرفيات متحركة بسرعة 50 Km/h. أفضل من أداء OFDM بـ 1 dB من أجل $BER = 2 \times 10^{-3}$ من أجل Hermite-DFT. أمّا من أجل

PHYDYAS-DFT فإنّ الأداء أفضل بأكثر من 5 dB من أجل $BER = 10^{-3}$.

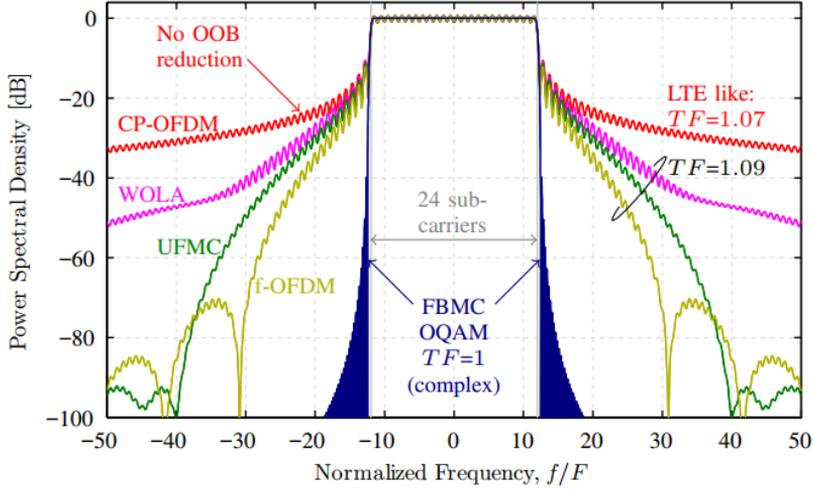
➤ من أجل سرعة الطرفية إلى 100 Km/h، وبالمقارنة بين OFDM ونظام FBMC مع Hermite-DFT، PHYDYAS-DFT، نلاحظ أنّ Hermite-DFT يعطي أداء أفضل بـ 2 dB من أجل $BER = 2 \times 10^{-3}$. ومن أجل PHYDYAS-DFT فإنّ الأداء أفضل بـ 3 dB من أجل $BER = 3 \times 10^{-3}$.

➤ معدّل خطأ البت يصبح أفضل باستخدام DFT ضمن نظام FBMC.

➤ من أجل محاكاة Power Spectrum Density (PSD) لنظام FBMC من أجل عدد حوامل 256 وتعديل 16-OQAM ومرشّح Hermite، فنجد في الشكل (11) أنّ مستوى الترددات الجانبية في الطيف أقل بكثير من نظام OFDM ولكن عند استخدام DFT فإنّ مستوى الترددات الجانبية يصبح أعلى بقليل إلا أنّه بجميع الأحوال أفضل بكثير من نظام OFDM.

➤ بمقارنة مستوى PAPR بين نظامي OFDM و FBMC نجد أنّ مستوى PAPR من أجل FBMC أقل بـ 2 dB من أجل $CCDF = 10^{-4}$ وذلك من أجل Hermite، أمّا في حال استخدام PHYDYAS فإنّ مستوى PAPR أعلى من حالة استخدام Hermite.

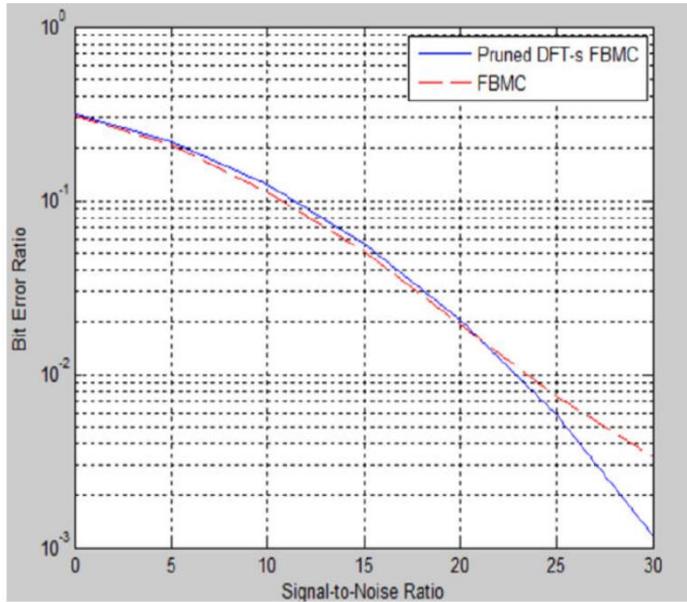
إنّ النتائج التي تم التوصل إليها تتسجم مع نتائج الدراسات السابقة حيث تبين الدراسة [7] تفوق نظام FBMC على نظام CP-OFDM من حيث الإشعاع خارج الحزمة كما هو مبين في الشكل (14) وعند استخدام DFT-FBMC فإنّ مستوى الحزم الجانبية يزداد قليلاً (الشكل 11) إلا أنه أفضل بكثير من OFDM كما أن الميزة المكتسبة تكون في نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة.



الشكل (14): مقارنة الكثافة الطيفية لنظامي OFDM و FBMC

كما تبين الدراسة [15] أن نظام DFT-FBMC يتفوق على FBMC من حيث BER من أجل SNR كبيرة ويتقارب منه من أجل القيم المنخفضة كما هو مبين في

الشكل (15).



الشكل (15): مقارنة الأداء لنظامي FBMC و DFT-FBMC.

9- المراجع

- [1] عرودكي، هشام. "نظم الاتصالات الخلوية: أسس ومبادئ"، الطبعة الأولى 2013 .
- [2] HAYKN S., MOHER M. "Modern Wireless Communication", International Edition, PEARSON Prentice Hall, 2005.
- [3] GARG V. "Wireless Communications and Networking", Elsevier, 2007.
- [4] RAPPAPORT T. "Wireless Communications Principles and Practice", 2ed, PEARSON Prentice Hall, 2002.
- [5] Vora L. J. "Evolution of mobile generation technology: 1G to 5G and review of upcoming wireless technology 5G", IJMTER, P281-290, 2015.
- [6] C. Cox, An Introduction To LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications, United Kingdom: WILEY, 2012.
- [7] Nissel R, Schwarz S, Rupp M. Filter bank multicarrier modulation schemes for future mobile communications. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2017 May 31;35(8):1768-82.
- [8] Song, L. Shen, J. "Evolved Cellular Network Planning and Optimization for UMTS and LTE", USA, 2011.
- [9] Gangwar, A. Bhardwaj, M. "An Overview: Peak to Average Power Ratio in OFDM system and its Effect," International Journal of Communication and Computer Technologies, vol. 01, no. PAPR, pp. 22-25, 2012
- [10] W. Jiang and T. Kaiser, "From OFDM to FBMC: Principles and Comparisons", *Signal Processing for 5G: Algorithms and Implementations*. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 48-66, 2016.

- [11] H. Qinwei and A. Schmeink, A, "Comparison and evaluation between FBMC and OFDM systems". *9th International ITG Workshop on Smart Antennas*, pp. 3-5, March. 2015.
- [12] A. Sahin, I. Guvenc and H. Arslan, "A Survey on Multicarrier Communications: Prototype Filters, Lattice Structures, and Implementation Aspects", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, pp. 1312-1338, 2014
- [13] B. Farhang-Boroujeny, "OFDM versus filter bank multicarrier", *IEEE signal processing magazine*, vol, 28, no. 3, pp. 92-112.2011.
- [14] P. N. Rani and C. S. Rani, "UFMC: The 5G modulation technique", in *2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, 2016.
- [15] Lawrence A, George S. "Performance Analysis of Pruned DFT Spread FBMC" *International Journal of Engineering Science and Computing*. 2020 September Volume 10 Issue NO.9.
- [16] Ramakrishnan B, Kumar A, Chakravarty S, Masud M, Baz M. Analysis of FBMC Waveform for 5G Network Based Smart Hospitals. *Applied Sciences*. 2021 Jan;11(19):8895.
- [17] Taher MA, Kutheir KH. FBMC as 5G candidate for high speed mobility. *InIOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2019 Jun 1 (Vol. 557, No. 1, p. 012040). IOP Publishing

