

تحسين الاتصالات عبر الألياف الضوئية في شبكات الجيل الخامس الخلوية باستخدام التعديل بالترشيح الكلي متعدد الحوامل UFMC

م. عدي قاسم*

(تاريخ الإيداع 9 / 1 / 2022 . قُبل للنشر في 3 / 4 / 2022)

□ ملخص □

برزت الحاجة المستمرة إلى معدلات نقل بيانات أعلى خلال السنوات الأخيرة بسبب ازدياد عدد الأجهزة المتصلة بالشبكة وازدياد الطلب على توفير خدمات تحتاج إلى سرعة وموثوقية وتأخير زمني في حدوده الدنيا، مما دعا إلى الانتقال من اتصالات الجيل الرابع LTE إلى الجيل الخامس 5G التي تحقق جودة خدمة أعلا مع معدلات نقل بيانات أكبر، كان التعديل الترددي المتعامد OFDM يمثل أفضل الخيارات لتعديل الإشارة ضمن اتصالات الجيل الرابع LTE والجيل الرابع المتقدم LTE-A، ولكنه لم يعد بالإمكان استخدامها في تنفيذ شبكات الجيل الخامس التي تعتمد طاقة إرسال منخفضة، وعلى الرغم من كون التعديل OFDM يستخدم حزم الحماية Cycle Prefix (CP) التي تتضمنها رموزه المرسلّة والتي تزيد من مقاومة تخامد الإشارة عند انتقالها عبر مسارات مختلفة، إلا أنه يقلل من فعالية الطيف الترددي بالإضافة إلى الطاقة المبددة بشكل كبير في الوريقات الإشعاعية الجانبية (Side Lobes) والتي تخفض بشكل كبير من طاقة الوريقة الأساسية التي تنقل الإشارة، وللمحد من كل هذه التأثيرات السلبية للتعديل الترددي المتعامد، اقترح الباحثون أنواع أخرى من التعديل الترددي المتعدد الحوامل، ومنها التعديل بالترشيح الكلي متعدد الحوامل UFMC، التعديل بالمرشحات الحزمية FBMC، والتعديل المعمّم باقتسام التردد GFDM، ويقوم التعديل بالترشيح الكلي متعدد الحوامل UFMC بفلتر كل حزمة من حزم الترددات الفرعية subbands بشكل منفصل مما يخفف بشكل كبير من الإشعاع خارج الحزمة الرئيسية (Out Of Band (OOB Radiation)، وهذا يسمح لنا بالتخلص من حزم الحماية الموجودة في التعديل الترددي المتعامد، لذلك ندرس في بحثنا هذا النوع من التعديل في اتصالات الألياف البصرية الخاصة بشبكة الجيل الخامس، وتحقق الخوارزمية المقترحة فعالية طيفية أكبر وتأخير زمني أقل.

الكلمات المفتاحية: الشبكة الموزعة، الهوائي الكثيف، التعديلات متعددة الحوامل، حزم الحماية، الإشعاع خارج الحزمة الرئيسية.

Enhancing Communications over Fiber Optics in 5G networks using UFMC

Eng.Odai Kassem*

(Received 9/ 1/ 2022 . Accepted 4/ 3/ 2022)

□ ABSTRACT □

Over the last few years, there is a continuous need for higher data rates due to the increasing number of devices and the great demand for multiple services with high reliability and low latency. This leads to upgrading wireless technologies from the 4G long term evolution (LTE) to the fifth generation of mobile technologies (5G) which is able to guarantee a high quality of service with improved data rates. OFDM has been considered as an effective solution for 4G LTE and LTE-A cellular networks. Nevertheless, it is not adopted for low-power applications related to 5G networks. While the cyclic prefix (CP) inside OFDM symbols makes OFDM resistant to multipath fading channels, it deteriorates the spectral efficiency. In addition, OFDM presents high spectral side lobe levels which lead to high PAPR, which highly degrades the power of the main signal transmitting lobe. To eliminate these disadvantages, new alternative waveforms, such as UFMC, filtered-OFDM (F-OFDM), generalized frequency division multiplexing (GFDM) and filter bank multicarrier (FBMC) are being proposed as potential candidates for 5G communications and beyond. In UFMC, each subband is filtered which decreases the OOB radiation and also allows to get rid of guard bands. So in this paper, we are trying to study this type of modulation in 5G optical communications, our proposed algorithm achieves more spectral efficiency and less delay.

Key words: Distributed Networks, Massive MIMO, Multicarrier Modulations, Cycle prefix.

*Master of Communications Technology Engineering, Faculty of Information & Communication Technology Engineering, Tartous University, Syria

مقدمة:

يركز مجال البحث في الاتصالات الخلوية على الموازنة بين الحصول على معدل نقل بيانات أعلى وتأخير زمني أقل بمعدل استهلاك طاقة أقل وبالتالي بتكاليف مادية أقل [1]، ويجري البحث عادة في تصميم بنية الهوائيات وفي آلية إرسال الإشارة وطرق التعديل الممكنة، وفي التعديل بالترشيح الكلي متعدد الحوامل يتم ترشيح كل حزمة فرعية على حدى، والذي يخفض من تشتت الإشارة بالإشعاع خارج الحزمة الأساسية [2] OOB، ويسمح أيضاً بالتخلص من حزم الحماية الموجودة في تعديل OFDM [3] ، بالإضافة إلى أنه مقاوم بشكل أكبر لتداخل الحوامل لأنه يتخلى عن خاصية التعادم الموجودة في تعديل OFDM والتي تحتاج إلى تزامن بين الحوامل الفرعية بين جهة الإرسال والاستقبال، فبدلاً من إضافة حزمة حماية إلى كل رمز كما هو الحال في تعديل OFDM [4]، يغطي تعديل UFMC مجموعة من حزم الحماية مجتمعة مع بعضها البعض مما يجعل استجابتها النبضية Impulse Response قصيرة [5]، وبالتالي يمكننا الحصول على كفاءة طيفية أكبر باستخدام تعديل UFMC، وفيما يتم تصميم مرشح تعديل FBMC بطول يساوي إلى ثلاثة أمثال مدة الرمز الواحد Symbol Duration، يؤدي ذلك إلى تأخير أكبر في عملية الإرسال [6]، وبما أن تعديل UFMC يقوم بعملية الترشيح لكل مجموعة من الحوامل الفرعية فإنه يعد أكثر تكيفاً وتأخيراً زمنياً أقل من تعديل FBMC، يناقش هذا البحث إمكانية تطبيق تعديل UFMC على الليف الضوئي متعدد النمط Multi-Mode Fiber (MMF)، نقترح بنية ليف ضوئي ضوئية لشبكة وصول لاسلكية مركزية Centralized Radio Access Network (C-RAN) تستخدم التعديل UFMC، فمن جهة سيحسن هذا النظام سعة القناة Channel Capacity عبر زيادة معدل البت باستخدام التعديل UFMC ومن جهة أخرى ستزداد الفعالية الطيفية بسبب طبيعة تعديل UFMC الذي لا يحتاج حزم حماية.

هدف البحث:

يهدف هذه البحث إلى بناء نظام اتصالات جيل خامس خلوي يعتمد بنية ليف ضوئي متعدد الأنماط ووحيد النمط وإجراء دراسة تحليلية للشبكة الخليوية ومن ثم تطبيق التعديلين FBMC و UFMC، وإجراء مقارنة فيما بينها من خلال فعالية الطيف الترددي والتأخير الزمني، ومن ناحية الإشعاع خارج الحزمة الرئيسية OOB.

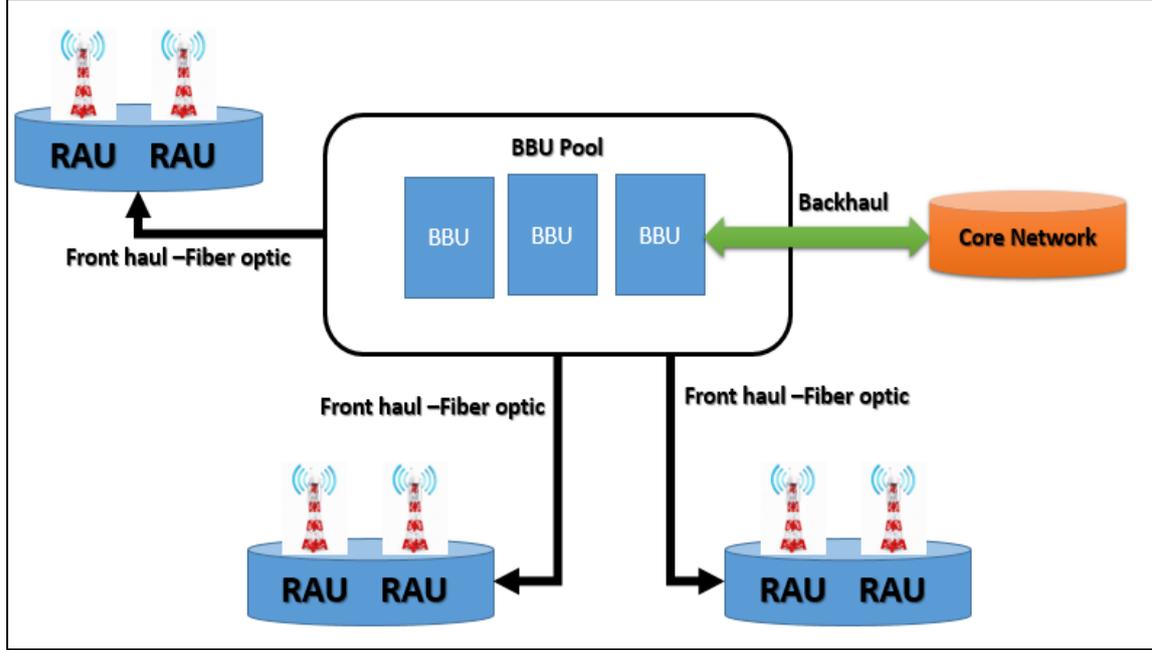
طرائق البحث ومواده:

أولاً-الدراسات المرجعية:

❖ بنية الشبكة اللاسلكية المركزية (C-RAN) المقترحة:

لتحقيق الأهداف المرجوة من اتصالات الجيل الخامس الخلوي، تم الاعتماد على بنية شبكة نقل أمامية راديوية مركزية (Front-haul C-RAN) والذي يقوم على أساس فصل وحدات النطاق الأساسي (BBUs) Baseband units عن وحدات الهوائيات Remote Antenna Units (RAUs).

تشبه وحدات الهوائيات RAUs إلى حد بعيد نقاط الوصول Access Points المستخدمة في مواقع الخلية Cell Sites، غير الاختلاف يكمن في أن وحدات الهوائيات RAUs يجري تجميعها في أحواض تجميع Pools، ووضعتها في المكتب المركزي Central Office كما يوضحه الشكل (1).

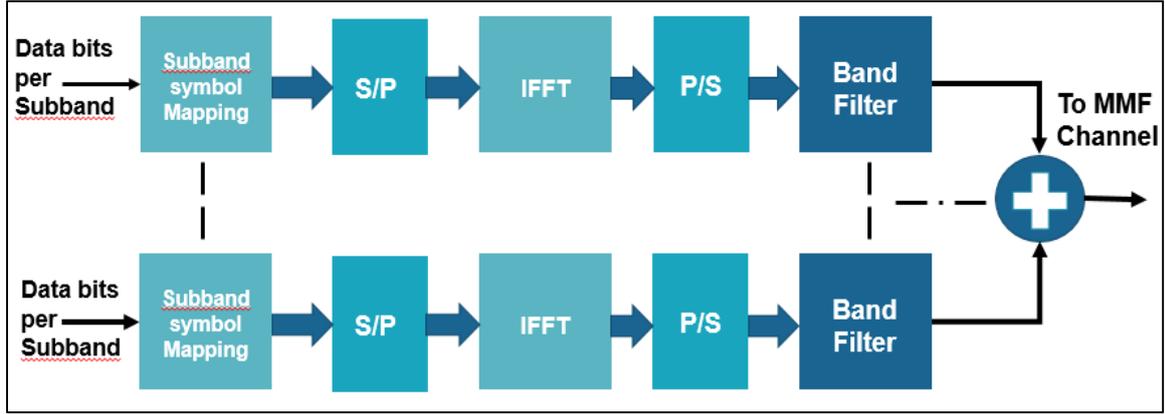


الشكل (1) طوبولوجيا الشبكة اللاسلكية المركزية (C-RAN)

في الواقع فإن معظم المهام والعمل اللازم من تخصيص الموارد وتجميعها وتوليد الإشارات ومعالجة الإشارات المُستقبلة من وحدات الهوائيات RAUs تقوم بها وحدات النطاق الأساسي BBU، لذلك فإن التخلي عن فكرة تخصيص وحدة BBU لكل وحدة هوائي RAU كما هو موجود في الشبكات الموزعة D-RAN، يعتبر خياراً جيداً لتخفيض التكلفة واستهلاك الطاقة، وبسبب الظروف الموجودة في وسط انتشار الإشارة بين المستخدمين ووحدات الهوائيات RAUs فإن الأمواج الملي مترية (MM W) المستخدمة في شبكة الجيل الخامس محدودة الانتشار بحد أقصى يبلغ 200 متراً فقط، لذلك فإن الاتصال بين وحدات BBU و RAUs يجري تأمينه عبر الألياف الضوئية أو ما يعرف بتقنية نقل أمواج الراديو عبر الليف الضوئي (RoF) Radio Over Fiber، وهذه التقنية من الاتصال توفر نقلاً آمناً للبيانات بشكل أكبر ومعدل نقل بيانات أعلى [7]، ويوجد نوعان من هذه التقنية: رقمي Digital RoF وتمائلي Analog RoF، تنتقل التقنية الرقمية D-RoF البيانات عبر الليف الضوئي بشكل سيء جداً وينخفض بذلك معدل الإرسال لذلك تعتبر التقنية التماثلية A-RoF أفضل بكثير لنقل البيانات عبر الليف الضوئي [8,9].

❖ التعديل بالترشيح الكلي متعدد الحوامل UFMC:

يتم استخدام التعديل بالترشيح الكلي متعدد الحوامل UFMC، فبدلاً من أن يتم ترشيح كل حامل فردي بمفرده كما هو الحال في نظام FBMC يتم ترشيح كل مجموعة حوامل فرعية مع بعضها البعض، ويطبَّق على كل مجموعة من الحوامل الفرعية تحويل فورييه العكسي، وبالتالي نحصل على بنية أقل تعقيداً، وكما هو مبين في الشكل (2) فإن يتم جمع الخرج الناتج عن عملية الترشيح للحصول على إشارة UFMC الأساسية التي ستكون جاهزة لإرسالها عبر ليف ضوئي متعدد النمط MMF.



الشكل (2) مخطط صندوقي لتعديل UFMC قبل إرسال الإشارات عبر قناة ليف بصري متعدد MMF

يتميز مثل هذا النوع من التعديل بتخفيف عدد حزم الحماية بين المجالات الفرعية، وبالنتيجة فهذا النوع من التعديل يتفوق على التعديل OFDM بكفاءة طيف ترددي أعلى وتأخير زمني أقل، ويتفوق على تعديل FBMC في بساطة بنيته وقابلية تطبيقه بشكل عملي وانخفاض تكلفة تطبيقه [10].

ثانياً-هيكلية النظام المقترح:

تم تحديد عدد وحدات النطاق الأساسي BBU بوحدتين متصلتين إلى وحدة هوائيات RAU واحدة، ونعتبر أن الإشارة يتم توليدها في وحدة النطاق الأساسي BBU ثم تسليمها إلى مرسل UFMC ليتم استقبالها في وحدة الهوائيات RAU، كما يوضح الشكل (3).

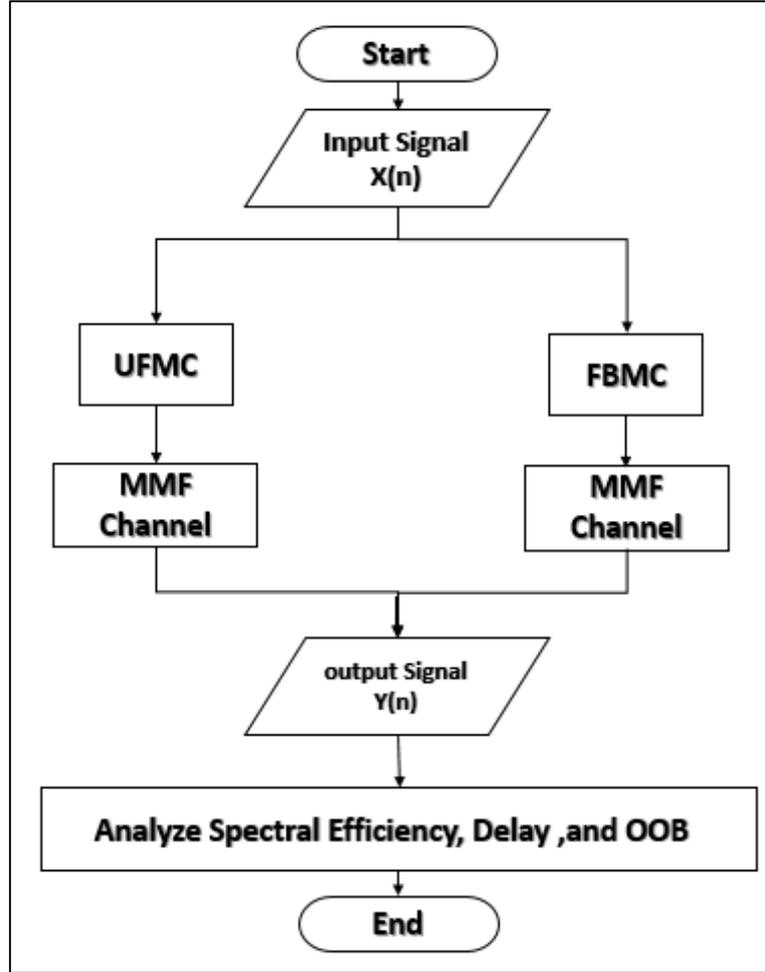


الشكل (3) سيناريو النموذج المقترح لشبكة لاسلكية مركزية

ويمكننا الآن من خلال هذا النموذج اعتبار أن الإشارة يتم توليدها في وحدة النطاق الأساسي ومن ثم يتم تعديلها وفق تعديل UFMC قبل دخولها إلى الليف الضوئي، وبعدها يجري إرسالها عبر ليف ضوئي متعدد النمط MMF الذي يعد قناة اتصال مثالية بضجيج و تخامد مُهمَلين، وبعدها يجري استقبال الإشارة ضمن وحدة الهوائي التي تحتوي على فاك للتعديل UFMC Demodulator، وبعد فك تعديل الإشارة تم دراسة خصائص ومميزات الإشارات المُستقبلة والتأخير الزمني وغيرها من البارامترات المهمة في بحثنا هنا.

ثالثاً- خوارزمية العمل المقترحة:

يبين الشكل (5) المخطط التدفقي لخوارزمية العمل المقترحة المعدلة.

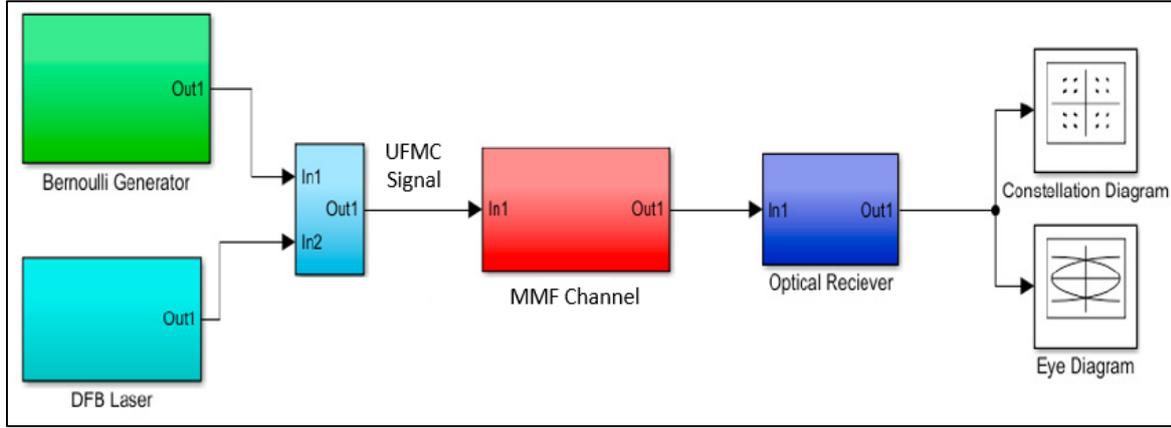


الشكل (4) المخطط التدفقي لخوارزمية العمل المقترحة المعدلة.

نقوم بتطبيق تعديل OFDM وتعديل FBMC وتعديل UFMC على الإشارة التي ستمر عبر ليف ضوئي متعدد النمط ثم نقارن بين أداء التعديلات الترددية المذكورة من ناحية فعالية الطيف والتأخير الزمني، ومن ناحية الإشعاع خارج الحزمة الرئيسية OOB.

رابعاً- نموذج المحاكاة:

قمنا بإجراء هذه المحاكاة على برنامج Matlab Simulink 2019a، ولتبسيط إجراء عملية المحاكاة تم تطبيق نظام صندوقي مكون من وحدة نطاق أساسي BBU واحدة فقط متصلة إلى وحدة هوائيات RAU واحدة أيضاً ونقوم بالمحاكاة من أجل وصلة هابطة Downlink تعتبر في هت وحدة النطاق الأساسي هي المرسل الذي يتم توليد الإشارة فيه، ووحدة الهوائيات هي المستقبل، وكما هو مبين في الشكل(4).



الشكل (5) النظام المقترح للإرسال والاستقبال مع مصفوفة هوائي كثيف.

يتم تحميل إشارة البيانات المعدلة وفق تعديل UFMC على حامل ترددي ضوئي من خلال بلوك يقوم بتوليد ليزر من النوع DFB Laser، بطول موجة $\lambda = 1310 \text{ nm}$ ، وفي مرسل الإشارة المعدلة من النوع UFMC يتم تقسيم عرض الحزمة إلى عدد B حزمة فرعية Subband، وكل حزمة فرعية i وحيدة تحتوي على عدد N من الحوامل الفرعية SubCarriers، ويتم تشفير بتات البيانات وتحويلها إلى رموز $(i = 1 \dots N)$ قبل تحويلها إلى رموز على التوازي عبر محوّل من تسلسلي إلى متوازي Serial to Parallel Converter (S/P)، ثم يتم تطبيق تحويل فورييه العكسي Inverse Fourier Transforme (IFFT)، ثم يعاد تحويل الإشارة إلى صيغتها التسلسلية في جهة المستقبل عبر بلوك محوّل من تفرعي إلى تسلسلي Parallel to Serial Converter (P/S) ثم يتم ترشيح الإشارة بمرشح طوله $L_f = L_{cp} - 1$ حيث L_{cp} هي طول حزمة الحماية CP، وفي النهاية فإن الإشارات الناتجة y_i عن الحزم الفرعية يتم جمعها مع بعضها، ومن أجل كل كتلة من التعديل UFMC بطول $(N + L_f - 1)$ يتم تعريف الإشارة $S_{UFMC}(K)$ كمايلي:

$$S_{UFMC}(K) = \sum_{i=1}^B \sum_{l=1}^{L_f} \sum_{n=0}^N S_{i,n} e^{j \frac{2\pi(k-l)}{N}} f_i(l), \quad K = 0 \dots N + L_f - 1 \dots \dots \dots (1)$$

نلاحظ من المعادلة أن $f_i(l)$ تمثل معاملات المرشح من أجل $l \in [0 \dots L_f]$.
ومن أجل نمذجة عملية الإرسال عبر ليف ضوئي وحيد النمط SMF تستخدم ليزر الحزمة الموزعة الراجعة Distributed Feedback Laser (DFB)، وبعد عبور الضوء للمستقبل الضوئي PhotoDiode تتحول الإشارة إلى إشارات كهربائية يتم فك تعديلها عبر مستقبل تعديل UFMC وتحويلها إلى أصفار ووحدات [10,11]، ويُعطى تابع النقل من أجل الليف متعدد النمط MMF طوله L ، عند تردد محدد f بالعلاقة الآتية:

$$H_{MMF}(f) = \exp \left[-\frac{(2\pi f D L \sigma_\lambda)^2}{2} \right] \sum_{m=1}^M P_m \exp(-j 2\pi f \tau_m L) \cdot 10^{-\gamma_m L/10} \dots \dots \dots (2)$$

حيث:

- M هي عدد المجموعات المثارة من النمط ضمن الليف.
- D معاملات التشتت الطيفي

- عرض الخط الضوئي الليزري σ_λ

- التأخير الزمني لكل مجموعة. τ_m

- Modal Attenuation الشكلي γ_m .

وتتميز كل مجموعة m مثارة من مجموعات النمط باستطاعة إرسال خاصة بها P_m ، ونفترض هنا أنه لا يمكننا التنبؤ بهذه القيمة لكل مجموعة مثارة من النمط لذلك تأخذ P_m قيم عشوائية معروفة من خلال القيمة المتوسطة Moy، الانحراف المعياري σ وتُعطى بالعلاقة الآتية:

$$P_m = moy + \sigma R_m \dots \dots \dots (3)$$

حيث أن:

- R_m تمثل التوزع الغاوسي بقيمة متوسطة صفرية [12].

- Moy القيمة المتوسطة

- σ الانحراف المعياري.

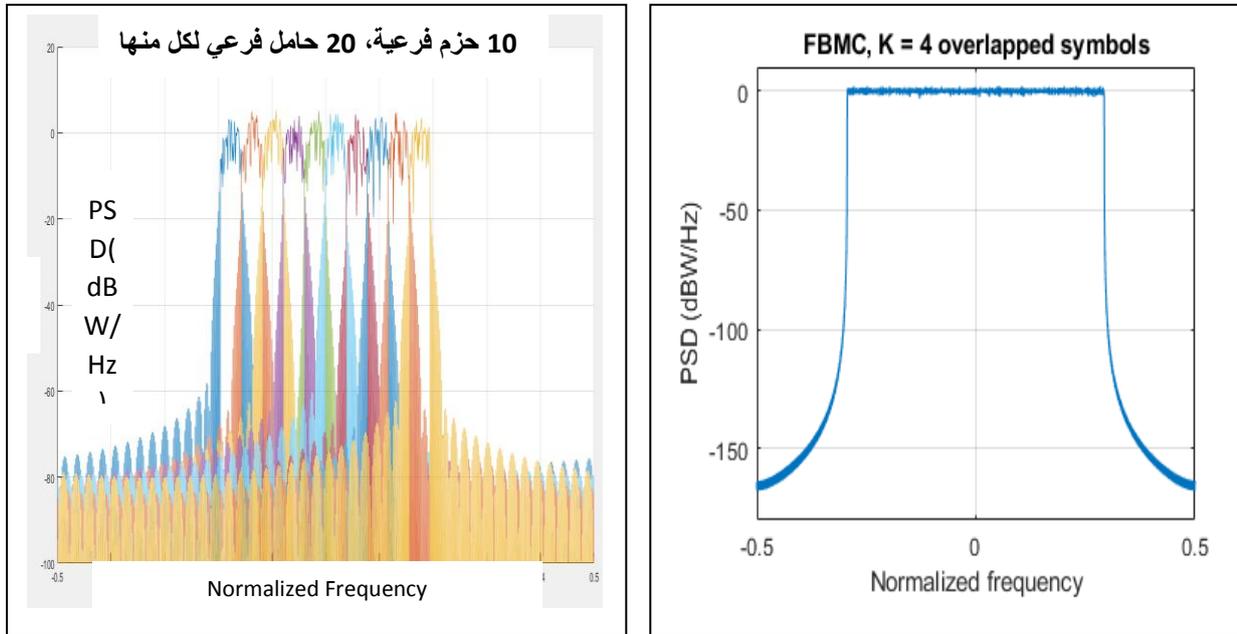
النتائج والمناقشة:

قمنا بإجراء المحاكاة وفق نظام مصمم في بيئة MATLAB Simulink 2019a من أجل الحصول على أفضل تعديل ترددي يمكن استخدامه وفق منظومة Front-Haul المقترحة، ولاحظنا من خلال بحثنا وبعد عملية جمع النتائج في جهة المستقبل أن معدل خطأ البت وفق التعديل UFMC أعلى منه ففي التعديل FBMC وهي نتيجة طبيعية بالنظر إلى طبيعة وخوارزمية عمل التعديلين، ويبين الشكل (6) طيف كثافة القدرة (PSD) Power Spectral Density للتعديلين FBMC و UFMC ونلاحظ أن التعديل FBMC يقدم وريقات إشعاعية جانبية Side Lobes أقل بشكل ملحوظ وبالتالي يزيد من تركيز الطاقة في الوريقة الأساسية وهذا ما يفسر مقاومة التعديل FBMC للإشعاع خارج الحزمة الأساسية OOB بشكل أفضل من التعديل بالمرشحات الحزمية UFMC [13]، وعلى الرغم من أن حزمة إشعاع الوريقة الرئيسية أقل عرضاً في تعديل UFMC منه في تعديل FBMC كما هو مبين في الجدول (1)، إلا أن زمن التأخير المنخفض الناتج عن ترشيح حزم فرعية بدلاً من ترشيح حوامل فرعية كل على حدى يجعل فعالية الطيف الترددي للتعديل UFMC أفضل منها في التعديل FBMC.

الجدول (1) نتائج المحاكاة لاختبار أداء التعديلات المقترحة وفق منظومة اتصالات الجيل الخامس الخلوي تعتمد طبولوجيا شبكة ليف بصري Front-Haul بين وحدة النطاق الأساسية ووحدات الهوائيات.

	PSD(dBw/Hz) For (OOB)	BER	Occupied BW (KHz)	Delay (ms)
MMF Mode				
FBMC	-160	$0.64 \cdot 10^{-1}$	340.8021	340ms
UFMC	-80	$0.66 \cdot 10^{-1}$	320.1014	302ms

ويبين الشكل (6) طيف كثافة القدرة PSD للتعديلين FBMC و UFMC:



الشكل (6) طيف كثافة القدرة PSD للتعديلين FBMC و UFMC.

الاستنتاجات والتوصيات المستقبلية:

قمنا بتطبيق التعديل بالمرشحات الحزمية FBMC، والتعديل بالترشيح الكلي متعدد الحوامل UFMC، وذلك على طولوجيا Front-Haul لشبكة جيل خامس خلوية تستخدم ليف ضوئي متعدد النمط وبعد إجراء المحاكاة ومراقبة أداء التعديلات المقترحة من ناحية طيف الإشارة وزمن المحاكاة ومعدل خطأ البت وطيف كثافة القدرة، نستنتج أن التعديل بالترشيح الكلي متعدد الحوامل يقدم تقنية جيدة من أجل نقل الإشارات عبر الألياف الضوئية ويمكن الاعتماد عليه على الرغم من أن التعديل بالمرشحات الحزمية قدم نتائج أفضل فيما يخص الإشعاع خارج الحزمة الرئيسية لكن التعديل بالترشيح الكلي متعدد الحوامل يتفوق من ناحية الفعالية الطيفية والتأخير الزمني يمكن تجاوز سلبيات هذا النوع من التعديل عند الموازنة مع الإيجابيات التي يحققها، وعلى الرغم من أن الليف الضوئي وحيد النمط يعد خياراً غير مفضل عملياً في طولوجيا الوصلات الأمامية Front-Haul وخاصة في حالتنا هذه، التي يكون معدل نقل البيانات كبيراً جداً بالنظر لكونها شبكة جيل خامس عالية السرعة، إلا أنه من الضروري متابعة البحث ودراسة هذا النوع من الليف أيضاً ودراسة تطبيق هذين التعديلين ضمنه، كما يمكن التوسع في بحثنا مستقبلاً بدراسة تأثير الأنواع المختلفة من الليزر المستخدم للإرسال والمستقبلات الضوئية المستخدمة، لما لها من تأثير مباشر في عملية التراسل الضوئي.

المراجع:

- [1] Cisco, Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020 White Paper, Cisco Public Information, 958959758, 2016.
- [2] N.U. Hasan, W. Ejaz, N. Ejaz, H.S. Kim, A. Anpalagan, M. Jo, Network selection and channel allocation for spectrum sharing in 5g heterogeneous networks, IEEE Access 4 (2016) 980–992.

- [3] A. Selim, L. Doyle, A method for reducing the out-of-band emissions for OFDM systems, in: Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), IEEE, 2014, pp. 730–734.
- [4] P.N. Rani, C.S. Rani, UFMC: The 5G modulation technique, in: IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), 2016, pp. 1–3.
- [5] L. Zhang, A. Ijaz, P. Xiao, M.M. Molu, R. Tafazolli, Filtered OFDM systems, algorithms, and performance analysis for 5G and beyond, *IEEE Trans. Commun.* 66 (3) (2018) 1205–1218.
- [6] N. Michailow, M. Matthé, I.S. Gaspar, A.N. Caldevilla, L.L. Mendes, A. Festag, G. Fettweis, Generalized frequency division multiplexing for 5th generation cellular networks, *IEEE Trans. Commun.* 62 (9) (2014) 3045–3061.
- [7] A. Saljoghei, F.A. Gutiérrez, P. Perry, D. Venkitesh, R.D. Koipillai, L.P. Barry, Experimental comparison of FBMC and OFDM for multiple access uplink PON, *J. Lightwave Technol.* 35 (9) (2017) 1595–1604.
- [8] V. Vakilian, T. Wild, F. Schaich, S. ten Brink, J.F. Frigon, Universal-filtered multicarrier technique for wireless systems beyond LTE, in: *Globecom Workshops*, IEEE, 2013, pp. 223–228.
- [9] F. Schaich, T. Wild, Waveform contenders for 5G—OFDM vs. FBMC vs. UFMC, in: *6th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP)*, IEEE, 2014, pp. 457–460.
- [10] Z.K. Weng, Y.C. Chi, H.Y. Kao, C.T. Tsai, H.Y. Wang, G.R. Lin, Quasi-color-free LD-based long-reach 28-GHz MMWof with 512-QAM OFDM, *J. Lightwave Technol.* 36 (19) (2018) 4282–429
- [11] S.M. Kang, C.H. Kim, S.K. Han, Universal filtered multi-carrier system for asynchronous uplink transmission in optical access network, in: *Proceedings of the International Society for Optics and Photonics (SPIE)*, 9772, 2016, p. 97720W.
- [12] L. Zhang, S. Xiao, M. Bi, L. Liu, X. Chen, FFT-Based universal filtered multicarrier technology for low overhead and agile datacenter interconnect, in: *18th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, 2016, pp. 1–4.
- [13] M. Kong, W. Zhou, Delivery of 12qam single Carrier signal in a MIMO radio-over-fiber system at 60 GHz, *IEEE Photonics J.* 9 (3) (2017) 1–7.