الجمهورية العربية السورية
جامعة البعث
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم الهندسة الالكترونية والاتصالات
اختصاص اتصالات

إعداد طالب الماجستير: علي وهبي – Ali Wahby

Email: ali.wahby93@gmail.com

إشراف: الأستاذ الدكتور عبد الكريم السالم

عنوان البحث:

تحليل أداء تقنيات الحوامل المتعددة في شبكات الجيل
الخامس

*Performance analysis of multicarrier techniques in the 5G
networks*

الملخص

تم استخدام تقنية التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) في الجيل الرابع بسبب تمتعها بمناعة كبيرة ضد تأثير الخفوت متعدد المسارات، ولكن تعاني هذه التقنية من عدة مساوئ مثل النسب العالية للانبعاث خارج الحزمة (OOBE) وللاستطاعة العظمى إلى المتوسطة (PAPR) peak-to-average power ratio، مما شجع على البحث عن مشكلات موجة أكثر فاعلية وذات أداء أفضل مثل F-OFDM (Filtered Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) و UFMC (Universal Filtered Multi-Carrier) التي تتميز بفعالية طيفية أفضل ومتطلبات تزامن بسيطة تلبي متطلبات شبكات الجيل الخامس. يهتم البحث بدراسة أداء تقنيتي F-OFDM و UFMC المقترحتين للاستخدام في شبكات الجيل الخامس باستخدام برنامج MATLAB في نموذج قناة حقيق Extended (Pedestrian A) EPA. تم الحصول على نتائج مشجعة من حيث تقليل تداخلات الرموز الناتجة عن تأثير القناة اللاسلكية من خلال تطبيق خوارزمية الإجبار الصفري (ZF) Zero Forcing.

كلمات مفتاحية: الحوامل المتعددة، الجيل الخامس، التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد، مشكلات موجة، الإجبار الصفري.

Abstract

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) was used in 4G networks for its great immunity to multipath fading impact. However, OFDM suffers from several disadvantages, such as high Out-of-Band Emission (OOBE), High Peak-To-Average Power Ratio (PAPR), which motivated the research for more effective waveforms with better performance like Filtered-OFDM (F-OFDM) and Universal Filter Multi Carrier (UFMC) that is characterized by better spectral efficiency and simple synchronization requirements to meet the requirements of 5G networks.

There is an interest here in studying the performance of UFMC and F-OFDM that are proposed in 5G networks using MATLAB in real channel's condition.

Satisfying results were obtained in terms of reducing the symbol interference caused by the wireless channel effect by applying the Zero Forcing (ZF) algorithm.

Keywords: Multicarrier, 5G, OFDM, Waveform, F-OFDM, UFMC, ZF

المقدمة Introduction:

تطورت الاتصالات الخليوية منذ عدة عقود من الجيل 0G إلى الجيل الخامس 5G الذي سيتم إطلاقه في عام 2020 مع بداية الأبحاث حول الجيل السادس 6G. قُدِّمت خلال هذه الفترة معايير كثيرة وتقنيات واعدة في التعديل والترميز والتجميع لتحسين جودة الخدمة (QoS) Quality of Service والأداء Performance والفعالية Efficiency.

بدأت الهواتف اللاسلكية بالظهور بدءاً من الجيل 0G الذي تم فيه استخدام بعض القنوات المتوفرة دون تقديم خدمة التسليم Handover مع استخدام الإشارات التشابهية لنقل الصوت فقط وتنوعت فيه التقنيات المستخدمة مثل (Push To Talk (PTT.

تم بعدها الانتقال إلى الجيل 0.5G وهو عبارة عن مجموعة من التقنيات تم عن طريقها تحسين ميزات 0G نذكر منها:

1. (ARP) AutoRadioPuhelin الذي تم إطلاقه عام 1971 في فنلندا ك أول شبكة خليوية تجارية للاستخدام العام.
2. B-Netz الذي تم إطلاقه في ألمانيا عام 1972 ك ثاني شبكة خليوية تجارية للاستخدام العام.

ظهر بعد ذلك الجيل الأول 1G والذي تم فيه اعتماد الخلايا Cells مع استخدام الإشارات التشابهية والتعديل التشابهية لإرسال واستقبال المعلومات.

تم بعد ذلك الانتقال إلى الجيل الثاني من الاتصالات الخليوية 2G في عام 1990 معتمداً على التقنيات والإشارات الرقمية مع تقديم خدمات جديدة، بالإضافة إلى المكالمات الصوتية ك إرسال الرسائل النصية (Short Message Service (SMS.

تميز الجيل الثاني بالأمان حيث تم تشفير الرسائل المراد إرسالها بسبب استخدامه للإشارات الرقمية Digital، كما تم فيه توظيف تقنيات التجميع بالتقسيم الترددي FDMA والزمني TDMA لزيادة السعة وتخدم أكبر عدد من المستخدمين.

بعد ذلك تم اعتماد الجيل 2.5G أو كما يسمى بـ General Packet Radio Service (GPRS) الذي تم فيه اعتماد تقنية التبديل بالرزم Packet Switching لتوفير خدمة الانترنت، حيث وصل معدل النقل إلى 56 كيلو بايت (56Kbps) مع تقديم خدمات أخرى، مثل رسائل الوسائط المتعددة Multimedia Message (MMS) وإرسال واستقبال البريد الإلكتروني (الإيميل E-mail) و World Wide Web (WWW).

أطلق بعد ذلك الجيل 2.75G أو كما يسمى بـ Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE) الذي حسن معدل إرسال البيانات إلى 236.8Kbps.

تم الانتقال بعد ذلك إلى الجيل الثالث 3G الذي حسن معدل النقل حتى 2Mbps، وقدم خدمات جديدة كلياً مقارنة مع الجيل الثاني مثل خدمة تحديد الموقع Global Positioning System (GPS) ومحادثات الفيديو Video Conferencing والتصفح السريع للإنترنت والتلفزيون عبر الإنترنت Internet Protocol Television (IPTV).

اعتمد الجيل الثالث على تقنية التجميع بالتقسيم المرز Code Division Multiple Access (CDMA) والتي تقوم على مبدأ إعطاء رمز (كود) خاص بكل مستخدم يُمكن المستخدمين من الولوج إلى الشبكة بنفس الزمن وعلى نفس التردد، مما أدى إلى زيادة سعة الشبكة وتحسين جودة الخدمة وتحسين أمان المستخدمين.

تم بعد ذلك اعتماد الجيل 3.5G أو كما يُسمَّى بـ High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) والذي دعم معدل نقل أعلى مقارنة بـ 3G تراوح بين 8-10Mbps ووصل إلى حدود 20Mbps في حال استخدام تقنية الـ MIMO.

تم بعد ذلك الانتقال إلى الجيل 3.75G والذي سُمِّي بـ High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) والذي تم فيه تحسين معدل النقل على الوصلة الصاعدة Uplink ووصل حتى 1.5Mbps و 5.8Mbps في الإصدارات الأخيرة Releases.

تم بعد ذلك الانتقال إلى الجيل الرابع 4G والذي قدم معدل نقل وصل حتى 100Mbps من أجل حركية بسرعة 60Kmph و 1Gbps من أجل المحطات الثابتة.

تم في الجيل الرابع ادخال ما يسمى بالتطور طويل الأمد (Long-Term Evolution) LTE واستخدام تقنية التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM والتي تتمثل فائدتها الأساسية في مقاومة الخفوت متعدد المسارات Multipath التي تعاني منه الإشارة عند انتشارها، حيث تتعرض لانعكاسات وانكسارات عن الأبنية والعوائق التي تعترضها، مما يؤدي إلى وصول أكثر من نسخة من الإشارة إلى المستقبل وتداخلها مع بعضها بعضاً وانخفاض شدة الإشارة المُستقبلة.

لكن تقنية OFDM عانت من عدة سلبيات أهمها محدودية الفعالية الطيفية والحساسية الكبيرة للإزاحة الترددية والزمنية وارتفاع نسبة الاستطاعة العظمى إلى المتوسطة PAPR والتي تسبب انبعاث عالي للإشارة خارج الحزمة الأساسية وتضخيم المطال في المنطقة اللاخطية والذي يخفض من فعالية وكفاءة المضخمات.

وبالنظر إلى سلبيات تقنية OFDM ومع انتظار إطلاق شبكات الجيل الخامس 5G، تم البحث عن تقنيات جديدة في التعديل لتحسين الفعالية الطيفية لتلائم التطبيقات الجديدة لشبكات الجيل الخامس، خصوصاً مع استخدام تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) (Internet

(of things) ووجود أعداد كبيرة من التجهيزات بحاجة إلى الترخيم الراديوي، وذلك من أجل تخفيض التداخلات التي تحدث بسبب الانبعاث الطيفي OOB قدر الإمكان، والذي يؤدي إلى زيادة تداخلات القنوات المتجاورة Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR).

أولاً- الهدف من البحث:

يهدف البحث إلى محاولة تحسين أداء مشكّلات الموجة المقترحة للاستخدام في شبكات الجيل الخامس Filtered OFDM، UFMC لضمان تقليل تداخلات القنوات المتجاورة ACLR قدر الإمكان.

ثانياً- مواد وطرق البحث:

تم استخدام برنامج MATLAB للمحاكاة وتطبيق نموذج قناة خفوت EPA لتقييم الأداء.

ثالثاً: مشكّلات الموجة المقترحة Candidate Waveform:

3-1 تقنية F-OFDM:

يتم تطبيق تقنية OFDM المستخدمة في LTE على كامل عرض الحزمة المخصص 20MHz بينما في F-OFDM يتم تقسيم عرض الحزمة المتوفر إلى عدة حزم فرعية [2] [1]، وكل حزمة فرعية لها إعدادات (بارامترات) مختلفة وتخصص لنوع محدد من الخدمات، وهذا يؤمن المرونة في تصميم الطبقة الفيزيائية، المتطلب الأساسي لاتصالات الجيل الخامس 5G.

وفقاً لسيناريوهات الاتصال، كل حزمة فرعية لها إعدادات خاصة يتم ترشيحها بواسطة مرشح يعطي تسرب طيفي منخفض جداً، كما إن تقنية F-OFDM لا تحسن الفعالية

الطيفية فحسب، بل يمكن أن تتواجد معها عدة مُشكَّلات أمواج waveform عن طريق استخدام الطيف المنفصل (المتقطع) Discrete.

تتعامل تقنية F-OFDM مع هذه الحزم الفرعية بطرق مختلفة معتمدة على سيناريوهات الاتصال ويتم إعدادها بشكل مختلف (الحزمة الفرعية) من خلال حجم FFT/IFFT خاص بكل حزمة فرعية ومسافة ترددية بين الحوامل الفرعية وطول CP حسب الخدمة.

يتم تطبيق مرشح من نوع Soft-truncated [3] الذي يتيح تمرير منخفض مثالي للترددات المرغوبة وتخميند الترددات غير المرغوبة عن طريق تطبيق النوافذ windowing.

الشكل (1-3): المخطط الصندوقي لتقنية F-OFDM [2]

3-1-1 النمذجة الرياضية لتقنية F-OFDM:

تم اقتراح تقنية F-OFDM للاستخدام في شبكات الجيل الخامس [1]، حيث يتم، بالاعتماد على الخدمة المطلوبة، تطبيق إعدادات مختلفة لتجهيزات المستخدمين TTI، CP Length، FFT Size وتخصيصها بقيم مختلفة وتطبيق الترشيح عليها، وذلك

بالنسبة للوصلة الهابطة Downlink ويقوم جهاز المستخدم UE بتطبيق إعدادات المرشح المخصصة له للحصول على الخدمة التي يطلبها، وسنبين ذلك من خلال الدراسة الرياضية التالية:

نبدأ بالتمثيل الزمني المتقطع لرمز OFDM :

$$x_u(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{j2\pi kn/N} \quad (1)$$

حيث: N حجم ال IFFT، c_k : رموز البيانات

إن عملية الترشيح عبارة عن عملية طي خطية، لذلك يمكن كتابة ما يلي:

$$\tilde{x}_u(n) = x_u(n) * f_u(n) \quad (2)$$

حيث أن $x_u(n)$ هي إشارة جهاز المستخدم ذو الترتيب u و $f_u(n)$ هو تابع المرشح الخاص به، حيث يفيد المرشح في ضغط الانبعاثات خارج الحزمة OOB.

وهذا يعني أنه يجب أن يكون مركزي التردد في وسط الحوامل الفرعية المخصصة له وحزمة التمرير Bandpass للمرشح يجب أن تتضمن كل الحوامل الفرعية لرمز ال OFDM.

الإشارة المستقبلية عند طرف محطة القاعدة (BS) base station يجب أن يكون لديها الصيغة التالية:

$$r(n) = \sum_{u=1}^M \tilde{S}_u(n) * h_u(n) + w_u(n) \quad (3)$$

حيث أن M هو عدد طرفيات المستخدمين UEs.

$h_u(n)$ الاستجابة النبضية للقناة u.

$w_u(n)$ الضجيج في القناة u.

تستقبل محطة القاعدة BS الإشارة $r(t)$ وتمررها خلال المرشح $f_u^*(-n)$ المتطابق مع مرشح المرسل لكل مستخدم، ويمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

$$r_u(n) = r(n) * f_u^*(-n) \quad (4)$$

3-1-2 تصميم المرشح:

تم دراسة تصميم المرشح لتقنية F-OFDM [3] بالاعتماد على تابع الـ Sinc وفق شروط محددة كما يلي:

حزمة التمرير Passband للمرشح يجب أن تكون مسطحة Flat قدر الإمكان من أجل الحوامل الفرعية الموجودة في الحزمة الفرعية، مما يضمن تشوهات ترشيح أقل ما يمكن لبيانات الحوامل الفرعية، خاصة من أجل الحوامل الفرعية على حافة الحزمة الفرعية.

يجب أن يبدأ تردد معامل التدوير roll-off للمرشح من الحواف لحزمة التمرير وحزمة الانتقال للمرشح transition band.

تخميد المرشح يجب أن يكون كافياً للحزمة الممنوعة بما يضمن إلغاء التداخل بين الحزم الفرعية المتجاورة.

لنعتبر مرشح مع استجابة ترددية مستطيلة، كالمرشح النموذجي، حيث يمكن اختيار استجابة نبضية على شكل تابع Sinc ولتكن $P_B(n)$ مع عرض حزمة مساوية لـ B.

يكون العرض الترددي للمناطق غير المسطحة بالنسبة لبضعة حوامل فرعية عند ترددات قريبة من حزمة الانتقال، لذلك يتم اختيار عرض حزمة لمرشح من نوع تابع sinc "B" بحيث تكون أكبر من عرض حزمة الحزمة الفرعية "W" بقيمة قليلة ∂W وتدعى Tone-Offset.

$$B = W + 2 \times \partial W \quad (5)$$

تم تصميم مرشح تمرير منخفض مع تطبيق نافذة تنعيم $w(n)$ على الاستجابة النبضية $P_B(n)$ موضحة بالمعادلة التالية:

$$f_B(n) \triangleq P_B(n) \cdot w(n) \quad (6)$$

$$P_B(n) = \text{sinc}\left((W + 2 \times \partial W) \times \frac{n}{N}\right), \quad |L/2| \leq n \leq |L/2| \quad (7)$$

$$w(n) = \left(0.5 \left(1 + \cos\left(\frac{2\pi n}{L-1}\right)\right)\right)^{0.6}, \quad |L/2| \leq n \leq |L/2| \quad (8)$$

2-3 تقنية UFMC:

بينما تقوم مرشحات تقنية F-OFDM بتزئيق الحزمة بأكملها [1] والمخصصة لخدمة معينة مزودة ضمن هذه الحزمة، UFMC تقسم الحزمة المخصصة للمستخدم إلى حزم فرعية أصغر يتم تزئيقها بصورة منفصلة ثم يتم جمعها وإرسالها خلال القناة كما في الشكل (2).

بالنسبة لذيل المرشح فإن UFMC تستخدم الإرسال الملغى (الصفري) Null Transmission كالحشو الصفري Zero Padding في مقدمة كل رمز، من أجل إلغاء كل من تأخير الانتشار للقناة وذيل المرشح.

تم استخدام نافذة Dolph Chebyshev [5] [4] من أجل تخميد الانبعاث الخارجي للحزمة OOB، حيث تعطي تخميذاً مرغوباً للفصوص الجانبية وتعطي حزمة ضيقة قدر الإمكان وهذا يحفظ عرض الحزمة Bandwidth.

الشكل (2-3): المخطط الصندوقي لتقنية UFMC

1-2-3 النمذجة الرياضية لتقنية UFMC:

تم دراسة تقنية UFMC المقترحة للاستخدام في شبكات الجيل الخامس [1] حيث اعتبر الباحث نموذج اتصال بسيط من جهاز إلى آخر في نظام UFMC وافترض وجود N حامل فرعي مخصص للإرسال إلى جهاز المستخدم K .

يتم تقسيم عدد الحوامل الفرعية الكلي N إلى B حزمة فرعية، وبفرض أن M_i حامل فرعي في الحزمة الفرعية i ، فتكون الصيغة الرياضية التالية:

$$\sum_{i=1}^B M_i = N \quad (9)$$

في كل حزمة فرعية يتم تطبيق IFFT بطول N ، وترشيح بطول L ، حيث أن شعاع البيانات $x_{i,k}$ سوف يكون بطول $N+L-1$.

الشعاع المحصل المراد إرساله في المجال الزمني x_k إلى المستخدم K سوف يكون مركب من B حزمة فرعية مرشحة (تم ترشيحها) وسيكون له الصيغة التالية:

$$x_k = \sum_{i=0}^B (x_{i,k} * f_{i,k}) \quad (10)$$

حيث أن $f_{i,k}$ هو المرشح من أجل الحزمة الفرعية i ، و $x_{i,k}$ هو شعاع البيانات من أجل الحزمة الفرعية i بعد تطبيق IFFT بطول N .

يمكن كتابة المعادلة (10) في صيغة شعاعية باستخدام مصفوفة Toeplitz من أجل عملية الترشيح، ومصفوفة IDFT من أجل عملية IFFT، عندئذ يمكن التعبير عن إشارة UPMC للمستخدم k بالمعادلة الرياضية التالية:

$$x_k = \sum_{i=1}^B F_{i,k} V_{i,k} c_{i,k} \quad (11)$$

حيث أن $F_{i,k}$ هي مصفوفة Toeplitz والتي تحتوي على الاستجابات النبضية للمرشح المؤدي لعملية الطي الخطي Linear Convolution و $V_{i,k}$ هي مصفوفة IDFT التي تخصص الرموز العقدية c_i للحوامل الفرعية المخصصة، وتعطى مصفوفة Toeplitz بالمعادلة الرياضية التالية :

$$F_i = \begin{bmatrix} h[0] & 0 & 0 & \Lambda & 0 & 0 & \Lambda & 0 \\ h[1] & h[0] & 0 & \Lambda & 0 & 0 & \Lambda & 0 \\ h[2] & h[1] & h[0] & \Lambda & 0 & 0 & \Lambda & 0 \\ M & M & M & M & M & M & M & M \\ h[L-1] & h[L-2] & \Lambda & \Lambda & h[0] & 0 & \Lambda & 0 \\ M & M & M & M & M & M & M & M \\ 0 & 0 & 0 & \Lambda & h[L-1] & h[L-2] & \Lambda & h[0] \end{bmatrix} \quad (12)$$

3-2-2 تصميم المرشح:

تستخدم نافذة Dolph Chebyshev [1] من أجل تخميد الانبعاث الخارجي للحزمة OOB، حيث تعطي تخميد مرغوب للفصوص الجانبية وحزمة ضيقة قدر الإمكان ويمكن التعبير عن تحويل نافذة Dolph Chebyshev بالمعادلات التالية:

$$W(w_k) = \frac{\cos\{M \cos^{-1}[\beta \cos(\frac{\pi k}{M})]\}}{\cosh[M \cosh^{-1}(\beta)]} , k = 0, 1, \dots, M-1 \quad (13)$$

$$\beta = \cosh[\frac{1}{M} \cosh^{-1}(10^\alpha)] , \quad \alpha \approx 2, 3, 4 \quad (14)$$

حيث أن α يمثل مستوى الفص الجانبي:

$$SLS = -20\alpha \quad (15)$$

يمكن تعريف نافذة Dolph chebyshev بالمعادلة التالية:

$$w(n) = \text{DFT}\{W(w_k)\} \quad (16)$$

رابعاً - الجزء العملي:

تم مقارنة أداء تقنيات OFDM و F-OFDM و UPMC في قناة خفوت سريع Fast Fading من نوع EPA وفقاً للإعدادات الموصفة في الجدول (4-1)، حيث تم مقارنة معدل خطأ البت BER بالنسبة لأنواع التعديلات الرقمية QPSK, 16QAM, 64QAM وتبيان كيفية تخطيط الرموز والتداخل الذي يحدث لها عند انتشار الإشارة بالنسبة لنوع التعديل QPSK.

تم تطبيق تسوية للقناة Equalization ممثلة بخوارزمية الإجبار الصفري Zero Forcing [6] لتقليل تداخلات الرموز وتحسين BER، حيث تقيد هذه الخوارزمية في تقليل التعقيد عن طريق توظيفها في عملية التخمين والتسوية بنفس الوقت.

توصف خوارزمية الإجبار الصفري بأنها خوارزمية خطية تستخدم في أنظمة الاتصال حيث يقوم مبدأها على تطبيق عكس الاستجابة الترددية للقناة.

يقوم مسوي الإجمار الصفري بتطبيق عكس الاستجابة الترددية للقناة على الإشارة المستقبلية لاستعادة الإشارة بعد مرورها بالقناة وتقليل تداخل الرموز ISI.

يمكن التعبير عن مسوي الإجمار الصفري $C(f)$ لقناة استجابتها الترددية $F(f)$ بالعلاقة الرياضية التالية:

$$C(f) = \frac{1}{F(f)} \quad (17)$$

الجدول (4-1): بارامترات المحاكاة في قناة خفوت حقيقية

البارامتر	القيمة
نوع التعديل	QPSK, 16QAM, 64QAM
نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR	30dB
عدد الحوامل الفرعية	24
نموذج القناة	EPA
سرعة القناة	130 Kmh
تردد الحامل	2.5GHz
المسافة الفاصلة بين الحوامل	15KHz

خامساً - النتائج Results:

يُبين الشكل (5-1) منحنى معدل خطأ البت BER للتقنيات الثلاثة OFDM، F-OFDM، UPMC مع استخدام تعديل رقمي QPSK وتطبيق خوارزمية الإجمار الصفري كنسوية للقناة حيث نلاحظ أن تقنية F-OFDM قدمت أفضل أداء مقارنة بتقنيتي OFDM، UPMC بينما قدمت تقنية OFDM أسوأ أداء.

الشكل (5-1): معدل خطأ البت لتعديل QPSK

يُبين الشكلان (2-5) (3-5) منحنيًا معدل خطأ البت BER للتقنيات الثلاثة OFDM، F-OFDM، UFMC مع استخدام تعديل رقمي 16QAM، 64QAM وتطبيق خوارزمية الإجبار الصفري كتسوية للقناة، حيث قدمت تقنية UFMC أفضل أداء بالنسبة للتعديل 16QAM تليها تقنية F-OFDM ثم تقنية OFDM كما يلاحظ من الشكل (5-2).

يمكن ملاحظة تحسن أداء تقنية OFDM مع ارتفاع رتبة التعديل، حيث عند استخدام تعديل رقمي من نوع 64QAM قدمت تقنية OFDM أفضل أداء مقارنة بتقنيتي الجيل الخامس.

الشكل (5-2): معدل خطأ البت لتعديل 16QAM

الشكل (3-5): معدل خطأ البت لتعديل 64QAM

سيتم في الأشكال التالية توصيف عملية ارسال واستقبال الرموز للتقنيات الثلاثة وكيف أثرت القناة على الرموز وجعلتها تتداخل مع بعضها.

يوضح الشكل (4-5) عملية تخطيط الرموز على الحوامل الفرعية Subcarrier Mapping لتعديل QPSK:

الشكل (4-5): تخطيط الرموز المرسل

يوضح الشكل (5-5) تخطيط الرموز المستقبلية ويمكن ملاحظة التداخل الحاصل بين الرموز على مستوى الحامل الفرعي الواحد:

الشكل (5-5): تخطيط الرموز المستقبلية

يوضح الشكل (5-6) تخطيط الرموز بعد تسويتها ويمكن ملاحظة تقليل التداخلات ما بين الرموز:

الشكل (5-6): تخطيط الرموز المستقبلية بعد تسويتها

سابعاً – الخاتمة Conclusion:

تم مقارنة أداء تقنيتي الإرسال والاستقبال F-OFDM و UFMC المقترحتين للاستخدام في شبكات الجيل الخامس 5G مع تقنية OFDM المستخدمة في الجيل الرابع 4G وذلك في نموذج قناة خفوت حقيقي EPA بالنسبة لمخلف التعديلات الرقمية. تبين لدينا من خلال المقارنة الأداء الجيد لتقنيتي UFMC و F-OFDM بالنسبة لسويات منخفضة من التعديل وأداء أفضل لتقنية OFDM بالنسبة للسويات العالية. كما تم محاكاة تخطيط الرموز المرسل والمستقبل وتأثير القناة عليها من ناحية التداخل الذي يسبب سوء كبير في الأداء، حيث تم تحسينه عن طريق تطبيق خوارزمية الإجماع الصفري ZF التي قللت تداخلات الرموز، وهذا أمر مهم لغاية كشف وتصحيح بتات المعلومات المرسل للحصول على أداء جيد.

سادساً- المراجع References

[1]- KODHELI .O, R2016 - **OFDM-based Schemes for Next Generation Wireless Systems**. Universita Di Bologna ,Italy, 54p.

[2]- ZHANG .L. IJAZ .A. XIAO .P. MOLU .M. TAFAZOLI ,R2017- **Filtered OFDM Systems, Algorithms and Performance Analysis for 5G and Beyond, IEEE Transacction and Communication**,vol .66, no .3, pp. 1205-1218.

[3]- 3GPP TSG RAN WG1 Meeting, R2016- **F-OFDM scheme and filter design**. Huawei HiSilicon, China, 10p.

[4]- BOCHECHKA .G. TIKHVINSKIY .V VOROZHISHCHEV .I AITMAGAMBETOV .A NURGOZHIN .B,R2017- **Comparative analysis of UPMC technology in 5G networks. International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)**, Kazakhstan,185-191p.

[5]- RANI .N . RANI .S, R2016- **UPMC: The 5G Modulation Technique, IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research**, pp. 1-3.

[6]. VILAR . F, R2014 **Implementation Of Zero Forcing And MMSE Equalization Techniques In OFDM**, UNIVERSIDADE DE FORTALEZA,Brazil, 52p.