

محاكاة أداء التنضيد بتقسيم التردد المتعامد OFDM باستخدام MATLAB

الدكتور هيثم الرضوان*

(تاريخ الإيداع 21 / 1 / 2016. قُبل للنشر في 19 / 5 / 2016)

□ ملخص □

يهدف البحث إلى دراسة أداء تقنية التنضيد بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM ، التي تستخدم في شبكات الجيل الرابع وما بعده وشبكات WiFi. استخدمت في الدراسة المحاكاة باستخدام MATLAB ، مع الأخذ بالحسبان عدد الحوامل الفرعية والتباعد بين الحوامل وعرض الحزمة، والتداخل البيئي بين الرموز ، والبادئة الدورية، ونسبة الإشارة إلى الضجيج في نظام OFDM. تطلب ذلك إجراء دراسة تحليلية لمستقبل ومرسل OFDM والتعديل متعدد الحوامل لتحديد القيم الأنسب لبارامترات اللازمة كدخل لإجراء المحاكاة البرمجية.

الكلمات المفتاحية : التنضيد بالتقسيم الترددي المتعامد ، البادئة الدورية، فعالية عرض الحزمة ، التداخل البيئي بين الرموز خطأ البت ، تحويل فرييه المتقطع.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سورية

Simulate the performance of orthogonal frequency division OFDM using MATLAB

Dr. Haytham Alradwan*

(Received 21 / 1 / 2016. Accepted 19 / 5 / 2016)

□ ABSTRACT □

The work aims to study the performance of Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDM technique, which is applied in the fourth generation mobile networks and beyond and WiFi. Used in the study simulation using MATLAB, taking into account the number of sub-pregnant Carriers, and the spacing between carriers and bandwidth, and Cyclic Prefix, and Inter-Symbol Interference and the proportion of the ratio of signal-to-noise in OFDM system. This required an analytical study of the future of the sender and the receiver OFDM multi-carrier modulation to determine the most appropriate values for the parameters of the necessary income to conducted at the simulation.

Keywords: Orthogonal Frequency Division Access, Cyclic Prefix, Inter-Symbol Interference. bandwidth, bit error rate (BER), DFT.

* Associate Professor of Communication and Electronic Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University , Lattakia, Syria.

مقدمة:

تطورت شبكات الاتصال المتقلة بشكل مطرد حيث أن استخدامها لم يعد مقتصرًا على نقل الإشارات الصوتية فقط، بل لنقل الصور والإشارات الفيديوية ولتراسل المعطيات وللاتصال مع شبكة الإنترنت العالمية. أدى هذا التطور إلى استخدام تقنيات جديدة تلبي هذه الاستخدامات، وظهرت بنتيجة ذلك عدة مشاكل تقنية كان لا بد من دراستها ومعالجتها [1-5].

سننظر في هذا البحث إلى دراسة تقنية الوصول بتنضيد تقسيم التردد المتعامد Orthogonal Frequency- Division Multiplexing Access (OFDMA) - ، إذ أنها تستخدم في أنظمة الجيل الرابع وما بعده وشبكات WiFi . تستخدم تقنية SC-OFDMA في الوصلة الصاعدة بينما تستخدم في الوصلة الهابطة تقنية OFDM [6-8]، مما يساعد في العمل على سرعات إرسال مختلفتين لكل من الوصلة الصاعدة والهابطة.

أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث في دراسة تداخل بعض بارامترات الوصلة الصاعدة والهابطة في نظام LTE وتحليل بارامترات الأداء باستخدام المحاكاة البرمجية باستخدام Matlab . وتبرز أهميته أيضاً من خلال الربط بين عدة بارامترات : نسبة الإشارة إلى الضجيج والتداخل البيئي بين الرموز ، والبادئة الدورية ودرجة التعديل.

طرائق البحث ومواده:

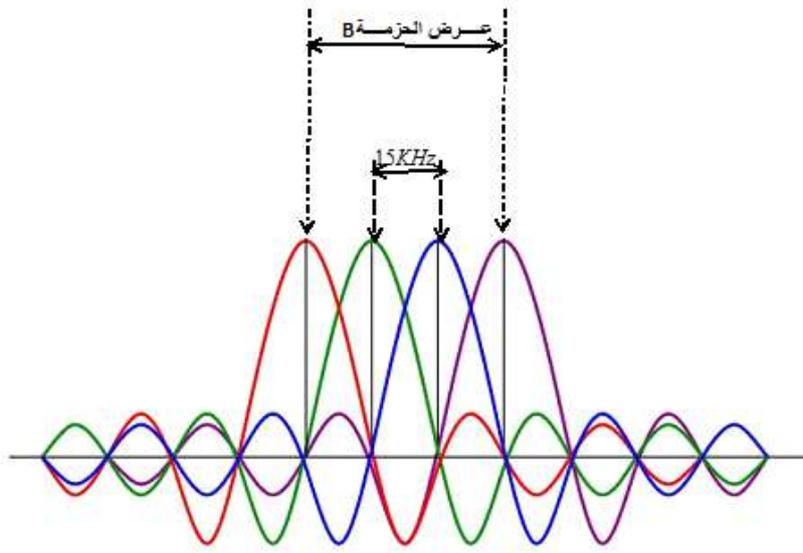
يتضمن البحث مدخلاً لمفهوم تقنية التنضيد باستخدام التقسيم الترددي المتعامد OFDM ومشاكل استخدام هذه التقنية ، وتأثيرها على نظام الاتصال النقال LTE من ناحية فقد خاصية التعامد بسبب ظاهرة التقلطح التي تحدث عند معدل إرسال بيانات عالي. سنوضح تحليلاً للأنظمة متعددة الحوامل ، وتقنية OFDM ، والتداخل البيئي بين الرموز ، والبادئة الدورية ، ومعدل خطأ البيت . كما سنوضح من خلال المحاكاة باستخدام اللغة البرمجية Matlab توليد حوامل OFDM وإضافة التأثيرات عليها واستنتاج العلاقة بين نسبة الإشارة إلى الضجيج ومعدل خطأ البيت. أجري البحث في مخبر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين.

مدخل إلى تقنية الوصول المتعدد بتقسيم التردد المتعامد OFDMA:

تعتمد الأنظمة متعددة الحوامل على تقسيم عرض حزمة القناة المستخدمة لعدد من القنوات الفرعية المتباعدة، ويكون عرض كل من هذه القنوات في الحالة المثالية صغيراً بشكل يكفي لتكون هذه القناة غير انتقائية للتردد. يعد التنضيد بالتقسيم الترددي المتعامد Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDM حالة خاصة من الإرسال متعدد الحوامل. تقسم القناة عريضة الحزمة الانتقائية للتردد في OFDM إلى عدة قنوات ذات حزمة ضيقة غير انتقائية للتردد، وتكون متعامدة و ولدى تعامد إشارتين ستكونان أبعد ما يمكن عن بعضهما البعض، وسيكون حاصل ضرب تكاملهما مساوياً للصفر بسبب كونهما جزأين متعامدين، أي أن هذه التقنية سمحت بتقاطع الإشارتين دون تداخلهما . يساعد ابتعاد إشارتين عن بعضهما في تجنب الحاجة إلا وجود حزمة أمان ترددية بينهما،

ويزداد بذلك عدد الإشارات الممكن استخدامها في المجال الترددي، ولذلك تمتلك تقنية OFDM فعالية طيفية كبيرة. يوضح الشكل (2) مفهوم التعامد بين الحوامل الفرعية المتجاورة.

يعني مفهوم التعامد بين الحوامل المختلفة اختيار التباعد بين ترددات الحوامل الفرعية بحيث يأخذ أي حامل فرعي قيمة صفر عند لحظة أخذ العينات للحامل الفرعي المجاور له، حيث يؤخذ هذا التباعد بقيمة 15 KHz في الإصدار الثامن من LTE (Release 8).



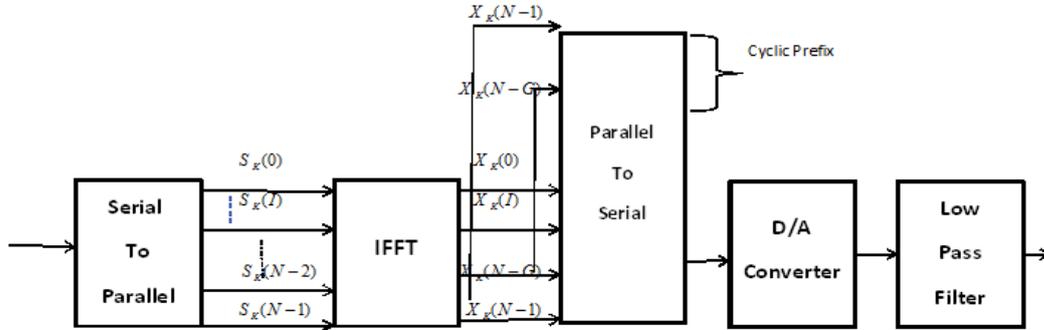
الشكل (1) التعامد بين الحوامل الفرعية المتجاورة.

يتم اختيار التباعد بين القنوات في OFDM بشكل دقيق بحيث يمكن الفصل بينها تماماً في المستقبل، مما يجعل المستقبل أقل تعقيداً، ويجعل نظام OFDM مريحاً للاستخدام في تراسل المعطيات لاسلكياً كما هو الحال في الوصلة الهابطة في نظام LTE. وتستخدم في LTE تقنية Orthogonal Frequency Division Multiple Access OFDMA للوصلة الهابطة، و Single Carrier-Frequency Division Multiple Access SC-FDMA للوصلة الصاعدة. تنقل البيانات بتغيير طور أو مطال كل حامل فرعي، وذلك تبعاً لتقنية التعديل المستخدمة، حيث يستخدم عادة تقنيات مثل QPSK، QAM، 16QAM، 64QAM. [9].

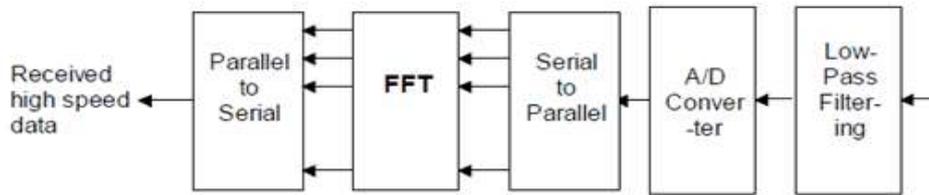
مرسل و مستقبل OFDMA:

يبين الشكل (2) مخططاً صندوقياً لمرسل OFDM بينما يبين الشكل (3) مستقبل OFDM، نلاحظ وجود عدة مراحل في جهة الإرسال كالتحويل من الشكل التسلسلي إلى التفرعي، وتحويل فورييه العكسي IFFT، والتحويل من تفرعي إلى تسلسلي، والتحويل من رقمي إلى تشابهي DAC، بينما يوضح الشكل (3) وجود عدة مراحل أيضاً في جهة الاستقبال مثل التحويل من تشابهي إلى رقمي ADC ومن تسلسلي إلى تفرعي، وتحويل فورييه لأمامي FFT. تستخدم تقنية تحويل فورييه السريع المعكوس IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) لتوزيع الإشارة المطلوبة بين المستخدمين؛ حيث يتم تضمين المشتركين على قناة واحدة الأمر الذي يضمن وصول الإشارة

في وقت واحد ودون حدوث أي تداخل ؛ وإذا ما حدث خلل في جهة المستقبل يمكن إعادة طلب الإشارة وتعويض الفقد في حال إعادة طلبها مع المحافظة على سرعة نقل البيانات التي فاقت 320 ميغا بت في الثانية [9].



الشكل (2) مرسل OFDM.



الشكل (3) مستقبل OFDM.

تعرف الإشارة المراد إرسالها في المجال الترددي، ويقوم بعدها المحول من الشكل التسلسلي إلى الفرعي بتجميع رموز البيانات التسلسلية في كتل بيانات من البعد M :

$$\mathbf{S}_k = [S_k[0], S_k[1], \dots, S_k[M-1]]^T \quad (1)$$

إذ أن الدليل k هو فهرس رمز OFDM.

تعدل التدفقات الفرعية M بشكل مستقل، فينتج شعاعاً عقدياً يعطى بالعلاقة:

$$\mathbf{X}_k = [X_k[0], X_k[1], \dots, X_k[M-1]]^T \quad (2)$$

يمكن أن تستخدم أنواع مختلفة من التعديل مثل: QPSK أو 16QAM أو غيرها على كل حامل فرعي، ويختلف كسب القناة من حامل فرعي إلى آخر بسبب الانتقائية الترددية، لذلك يمكن لبعض الحوامل الفرعية أن تحمل معدلات بيانات أكثر من حوامل أخرى. الشعاع \mathbf{X}_k على تحويل فورييه السريع العكسي وينتج عنه مجموعة مكونة من N عينة عقدية في المجال الزمني:

$$\mathbf{x}_k = [x_k[0], x_k[1], \dots, x_k[N-1]]^T \quad (3)$$

يكون عدد الحوامل المعالجة في أنظمة OFDM العملية أكبر من عدد حوامل OFDM بعد إجراء عمليات التعديل $N \geq M$ ، إذ أن الحوامل التي لم تُعدل يتم تصفيرها.

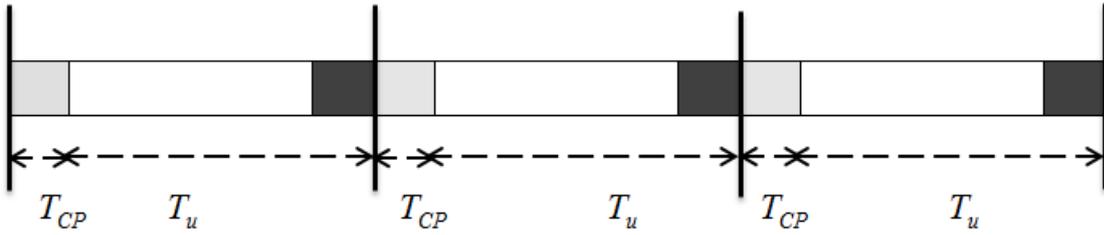
تتمثل العملية الرئيسية التالية في توليد إشارة OFDM في إيجاد فترة حماية زمنية في بداية كل رمز من رموز OFDM؛ وذلك لإزالة الأثر المتبقي لظاهرة التداخل البيني للرموز ISI والذي يظهر بنتيجة الانتشار متعدد

المسارات. يتم الحصول على هذه فترة الحماية الزمنية بواسطة إضافة بادئة دورية Cyclic Prefix CP في بداية كل رمز \mathbf{x}_k . تولد البادئة الدورية بأخذ نسخة من آخر G عنصر من خرج IFFT وإلحاقها في بداية الشعاع \mathbf{x}_k .

$$[\mathbf{x}_k[N-G], \dots, \mathbf{x}_k[N-1], \mathbf{x}_k[0], \dots, \mathbf{x}_k[N-1]]^T \quad (4)$$

يلاحظ مما سبق أن طول البادئة الدورية CP، وبالنتيجة يتناسب طول فترة الحماية مع عدد العناصر G ، لذلك يتم اختيار G بحيث يكون طول CP أطول من أطول تابع استجابة نبضي للقناة لتفادي ظاهرة التداخل البيئي للرموز بشكل تام.. يحول بعد ذلك خرج تحويل فورييه السريع العكسي IFFT من الشكل التفرعي إلى التسلسلي لإرساله عبر القناة الانتقائية للتردد.

تجرى في المستقبل عمليات معاكسة للعمليات السابقة لفك تعديل إشارة OFDMA، على افتراض أنه تم تحقيق التزامن الترددي والزمني، يزال عدد من العينات متناسب مع طول CP، بحيث يبقى فقط كتلة من العينات خالية من ISI وتمرر إلى DFT. إذا كان عدد الحوامل الفرعية N يحقق العلاقة التالية: $N = 2^i$ حيث أن $i = 1, 2, 3, \dots$ ، يكون عندها FFT أكثر فعالية من DFT وذلك لتحويل الإشارة إلى المجال الترددي مرة أخرى، ويوضح الشكل (4) مفهوم إضافة البادئة الدورية، وفيه T_{CP} طول البادئة الدورية المضافة في بداية رمز OFDMA كفترة حماية زمنية لمعالجة الأثر المتبقي من ظاهرة التداخل البيئي للرموز ISI و T_u مدة رمز OFDMA.



الشكل (4) - إضافة البادئة الدورية.

مبدأ تقنية الأنظمة متعددة الحوامل:

تؤمن تقنية OFDM كفاءة عالية جداً، ومرونة عمل مع الحزم الترددية الراديوية المختلفة (0.5-5 جيجا هرتز) الأمر الذي يمكن من الحصول على سرعة عالية لنقل المعطيات تتعدى 320 ميغا بت لكل ثانية. إضافة لتقليل الخفوت وسهولة تصحيح الخطأ والتداخل البيئي، إلا أنه يوجد في هذه التقنية بعض المشاكل كظاهرة التداخل البيئي بين الرموز، والتي يرمز لها ب ISI، وهي تؤدي إلى ارتفاع الحزمة المخصصة للرمز، OFDM، وتحدث هذه الظاهرة عند السرعات العالية لمعدل نقل البيانات. [17-18]

يعتمد المبدأ الأساسي للتعديل في الأنظمة متعددة الحوامل على تقسيم دفق البيانات D إلى N تدفق تفرعي، وينقص بذلك معدل البيانات بمقدار D/N ، ويقسم بالنتيجة الطيف الترددي لعدة حزم ترددية ضيقة، يعدل بعد ذلك كل تدفق فرعي بحزمة ترددية ضيقة منفصلة، وتجمع بعد ذلك الإشارات كلها للإرسال. تفصل مجموعة من المرشحات في جهة الاستقبال الإشارة عريضة الحزمة وتنتج الحوامل ضيقة الحزمة الأساسية لفك تعديلها. تتميز هذه الأنظمة عن أنظمة الحامل الوحيد بزيادة طول الرمز بسبب انخفاض معدل البيانات، مما يجعل الإشارة أقل عرضة لتأثيرات القناة، مثل الانتشار متعدد المسارات الذي تنتج عنه ظاهرة التداخل البيئي للرموز ISI [10-12].

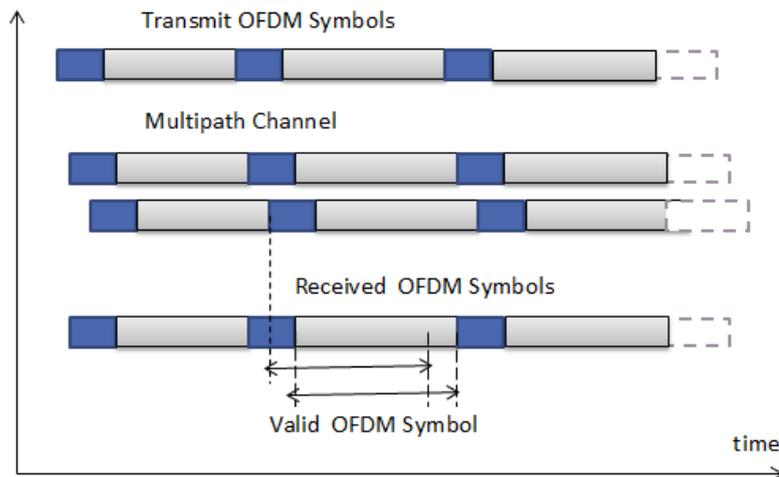
ظاهرة التداخل البيئي للرموز Inter-Symbol Interference ISI:

يتم تحويل تدفق رموز البيانات عالية المعدل في نظام OFDMA من شكل تسلسلي إلى شكل تفرعي، حيث تعدل على M حامل فرعي متوازي، مما يؤدي إلى زيادة طول الرمز على كل حامل بمعامل M بحيث يصبح أطول من تأخير القناة بشكل ملحوظ. يتم بعدها تعديل كل تدفق من البيانات على حامل فرعي ضيق الحزمة، تجمع بعدها هذه الحوامل ويتم إرسالها معاً. يزداد التداخل كلما ارتفع معدل البيانات، وبالنتيجة ينقص طول الرمز. مما سبق نجد أن نظام OFDMA يقدم حلاً مثالياً لهذه المشكلة لأنه يقوم بتقسيم تدفق البيانات القادم إلى مجموعة من التدفقات الفرعية بمعدل بت أصغر بمعامل مساو لعدد هذه التدفقات، بذلك يزداد طول الرمز وتزداد المناعة ضد هذا النوع من التداخل، بالإضافة إلى ذلك، فإن نظام OFDMA يزيد المناعة ضد التداخل من خلال إضافة البادئة الدورية. [10-12].

الإزاحة الزمنية وأبعاد البادئة الدورية:

في حالة عدم وجود تأخير في القناة (قناة بلا ذاكرة)، يكون OFDMA غير حساس لأخطاء التزامن حيث أن اختلال الترتيب يبقى ضمن فترة البادئة الدورية. بمعنى آخر، إذا كانت $T_0 \leq T_{CP}$ حيث أن T_0 هي خطأ التزامن في التوقيت و T_{CP} زمن البادئة الدورية، عندها لا يتأثر التعامد وذلك بفضل الطبيعة الدورية للبادئة الدورية CP ، وأي تأخير في توقيت الرموز سينتج عنه إزاحة طورية ثابتة من حامل فرعي إلى آخر.

تعمل البادئة الدورية كمنطقة حماية تخزن فيها المعلومات المؤخرة من الرموز السابقة، ويقوم المستقبل بحذف رموز البادئة الدورية التي تم تخريبها من قبل الرموز السابقة. كما هو موضح في الشكل (5)، ونجد في القسم العلوي منه الإشارة المرسل، القسم التالي له يوضح كيف تصبح هذه الإشارة بعد مرورها في القناة متعددة المسارات، يوضح القسم الأخير الإشارة المستقبلية حيث نلاحظ أن التأخير أدى إلى تخريب الإشارة ضمن مجال البادئة الدورية، والمعلومات المفيدة لم يتم تخريبها، وبالتالي يكون على المستقبل أن يحذف قسم البادئة الدورية فيحصل على الإشارة المفيدة. [13-15].



الشكل (5) تأثير الإزاحة الزمنية للرمز وعلاقته بطول البادئة الدورية.

تأثير الطول غير الكافي للبادئة الدورية:

يتم عادة اختيار طول هذه البادئة بحيث تكون مساوية للتأخير المتوقع في القناة. يكون طول البادئة الدورية في أنظمة OFDMA متراوحاً بين $1/4$ إلى $1/32$ من طول الرمز. يستغل المستقبل الترابط القوي بين البادئة الدورية وآخر جزء من الرمز التالي لتحديد مكان بداية الرمز ليبدأ بفك ترميزه. في الأنظمة متعددة المسارات تصل نسخ مؤخره بانزياحات زمنية مختلفة، وبالتالي يقع بداية الرمز في جزء البادئة الدورية من الرمز المؤخر، بما أن البادئة الدورية هي إعادة لنهاية الرمز لا يحدث التداخل البيئي للرموز ويمكن استعادة الإشارة الأصلية في المستقبل من خلال تحويل فورييه السريع. [13-15].

تحديد بارامترات النظام:

يجب أخذ عدة بارامترات بالحسبان في عملية التعديل المعتمدة في نظام OFDM ، ومن أهم هذه البارامترات هي نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR ، نوع التعديل المستخدم (QAM مثلًا، 2QAM, 4QAM, 8QAM, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM)، عدد العينات، معدل خطأ الإرسال BER، عدد الحوامل الفرعية، حجم FFT.

ستؤخذ البارامترات التالية بالحسبان في هذه الدراسة:

1. نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR (1-30) ديسيبل.
2. عدد الحوامل الفرعية (1-64).
3. التباعد بين الحوامل 15 KHz .
4. عرض الحزمة 1.4 MHz .
5. طول البادئة الدورية 9.

من أجل نظام ما، فإن محددات الانتشار التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند تصميم نظام OFDM هي تأخير الانتشار المتوقع T_d وتردد دوبلر الأعظمي المتوقع $f_{d_{max}}$ ، وفي حالة الأنظمة الخليوية يؤخذ بعين الاعتبار حجم الخلية المطلوب. نجد من ذلك أن محددات الانتشار تفرض قيوداً على اختيار طول البادئة الدورية وعلى المسافات المتروكة بين الحوامل.

كما ذكرنا سابقاً يجب أن يكون طول البادئة الدورية CP أكبر من طول الاستجابة النبضية للقناة للحفاظ على حصانة النظام ضد التداخل البيئي للرموز ISI. في الأنظمة الخليوية وخاصة عندما تكون الخلية كبيرة يحصل تأخير في الانتشار أكبر مما يحصل في غيرها من الأنظمة، فيكون هناك حاجة إلى بادئة دورية بطول أكبر، وبالتالي نحصل على فائض أكبر في الرموز مما يتطلب استطاعة إضافية في الإرسال. نجد مما سبق أنه من أجل $N+G$ رمز مرسل، هناك فقط N رمز يحمل المعلومات، فيكون هناك خسارة في المعدل. يمكن التعبير عن هذه الخسارة كتابع ل طول البادئة الدورية بالعلاقة:

$$\beta_{overhead} = \frac{T_{CP}}{T_u + T_{CP}} \quad (5)$$

حيث: T_{CP} هي طول البادئة الدورية الزمني و تساوي إلى $T_g \cdot G$.

T_u هي مدة رمز OFDMA و تساوي إلى $T_g \cdot N$.

T_g هي دور التقطيع.

بارامترات الطبقة الفيزيائية لنظام LTE:

إن الاختيار الطبيعي لبارامترات الطبقة الفيزيائية هو استخدام مسافة فاصلة بين الحوامل بقيمة $\Delta f = 15\text{KHz}$ وطول $CP = 5\mu s$ عند عرض حزمة 1.4 MHz . إن هذا التباعد بين الحوامل هو حلّ وسط بين النسبة المئوية للفائض الناتج عن إضافة البادئة الدورية، والحساسية للإزاحات الترددية. حيث أن ترك مسافة فاصلة بين الحوامل بمقدار 15KHz يكون كافياً للسماح بإمكانية تنقل عالية ولتجنب الحاجة إلى عمليات تصحيح تردد متكررة. يمكن اختيار هذه البارامترات بطرق مختلفة عن الحالة السابقة، فيمكن ضبط بارامترات LTE بقيم بادئة دورية أطول حيث يمكن جعلها تقريباً $17\mu s$. حيث تستخدم هذه القيمة للتأكد أنه حتى في الخلايا الواسعة في المناطق قليلة الكثافة السكانية، سوف يتم احتواء التأخير في الانتشار ضمن البادئة الدورية. بالمقابل، فإن كلفة زيادة طول البادئة الدورية هي زيادة الفائض الناتج عنها [16].

صمم نظام LTE أيضاً ليدعم عملية "البث العام في أكثر من خلية Multi-cell broadcast وفيها يقوم جهاز المستخدم باستقبال إشارات متزامنة من خلايا متعددة. يجب في هذه الحالة أن تقع كل الإزاحات الزمنية المستقبلية من كل الخلايا ضمن زمن البادئة الدورية، ولذلك يجب في هذه الحالة جعل البادئة الدورية أطول بشكل واضح وذلك لتجنب ظاهرة ISI. يصبح نتيجة لذلك الفائض في كل رمز OFDM كبيراً، لتعويض ذلك يتم إنقاص الحزمة الترددية الفاصلة بين الحوامل الفرعية إلى النصف وبالتالي يمكن مضاعفة طول رمز OFDM وتعويض الخسارة السابقة، حيث أن ضريبة ذلك هي زيادة حساسية جهاز المستخدم للإزاحة الترددية. نتيجة لما سبق نجد أنه يمكن جعل طول البادئة الدورية $33\mu s$ وتشكل فقط ربع رمز OFDM بسبب ازدياد طوله.

آلية المحاكاة البرمجية:

تتكون عملية الإرسال والاستقبال في نظام OFDMA من عدة مراحل، وتختلف بارامترات للنظام من حالة إلى أخرى، من أهم هذه البارامترات عدد الحوامل الفرعية، والتباعد بين هذه الحوامل، تردد التقطيع، عدد الرموز في الحيز الزمني الواحد Symbols per Slot، طول البادئة الدورية Cyclic Prefix، التأخير الأعظمي الناتج عن انتشار الأمواج، عدد العينات في رمز OFDMA. تتبع هذه البارامترات لقيمتين أساسيتين هما عرض الحزمة الترددية المخصص للنظام، ومساحة الخلية المدروسة.

يؤدي تغير مساحة الخلية إلى تغير طول البادئة الدورية وزيادة زمن الانتشار. يوجد ثلاثة أحجام قياسية للخلية وهي:

- **الخلية الصغيرة:** يكون تأخير الانتشار الأعظمي $4.7\mu sec$ ، وطول البادئة الدورية عبارة عن واحد من مجموعة قيم تدعى الأطوال العادية للبادئة الدورية، حيث تتحدد أي قيمة من هذه المجموعة بحسب عرض الحزمة المستخدم.
- **الخلية الكبيرة:** تأخير الانتشار الأعظمي $16.7\mu sec$ واختيار البادئة الدورية من المجموعة الممددة Extended، وأيضاً اختيار القيمة الفعلية من المجموعة يكون بحسب عرض الحزمة المتوفر.
- **الخلية من النوع شبكة البث الإذاعي للوسائط المتعددة على تردد وحيد Multimedia Broadcast MBSFN Single Frequency Network:** يدعم هذا النمط يدعم إرسال البث الإذاعي متعدد الخلايا حيث يستقبل جهاز المستخدم (UE) إشارات متزامنة من مجموعة من الخلايا. في هذا النوع من الخلايا يكون تأخير الانتشار $33.3\mu s$ ، وطول البادئة الدورية من مجموعة خاصة هي (64، 128، 256، 512، 1024).

نتائج محاكاة نظام OFDMA ومناقشتها:

تتكون المحاكاة البرمجية من قسمين ، القسم الأول يتم فيه حساب بارامترات النظام بناءً على حجم الخلية وعرض الحزمة المخصص لها. أما القسم الثاني فهو مخصص لمحاكاة عملية الإرسال والاستقبال من العقدة eNodeB إلى المستخدم بتقنية OFDMA وحساب تغيرات معدل خطأ البت مع نسبة الإشارة إلى الضجيج.

تم اختيار خلية صغيرة بعرض حزمة 1.4MHz ، ويؤخذ التباعد بين الحوامل 15KHz وهو متعلق بحجم الخلية فقط، أما عدد الحوامل فهو 64 حامل. يتعلق طول البادئة الدورية بحجم الخلية ، فإذا كان حجمها كبيراً تزيد قيمة البادئة الدورية وذلك بسبب زيادة نصف قطر الخلية وبالتالي ازدياد المسافة التي تقطعها الإشارة من العقدة إلى طرفية المستخدم مما يؤدي إلى زيادة التأخير الناتج عن انتشار الأمواج. يؤدي هذا التأخير إلى وصول بعض البتات في غير وقتها المناسب مما يؤدي إلى ظاهرة التداخل البيئي للرموز ISI الذي ذكرناه سابقاً. يمكن تلخيص هذا التأخير بأن بتات خاصة بأحد الرموز تتأخر في الوصول نتيجة الزمن اللازم لانتشار الأمواج مما يؤدي إلى وصولها في الزمن المخصص للرمز التالي. تبلغ قيمة البادئة الدورية تتراوح قيمة البادئة الدورية بين 4 و 9 ميكرو ثانية في الخلايا الصغيرة، بينما تبلغ حوالي 33 ميكرو ثانية في الخلايا الكبيرة، وبما أننا نتعامل هنا مع خلية صغيرة تم اختيار قيمة البادئة الجورية 9 ميكرو ثانية.

نجد مما سبق أنه لحساب طول البادئة الدورية نحسب الزمن الذي يجب أن تشغله البادئة من كل رمز ، وهو أكبر أو يساوي زمن تأخير انتشار الأمواج من المرسل إلى المستقبل ويحدده نصف قطر الخلية. نقوم بعد ذلك بحساب عدد العينات اللازمة لتشغل ذلك الزمن من خلال عرض الحزمة المستخدم في الخلية.

أما بالنسبة لعدد العينات في كل رمز OFDMA نميز بين مصطلحين، **المصطلح الأول** هو عدد العينات الفعلية في كل رمز ونقصد به عدد العينات التي تعبر عن المعلومات المنقولة أي بعد إزالة البادئة الدورية، وهو يتبع لتردد التقطيع المستخدم وبالتالي لعرض حزمة النظام، أي أن عدد العينات في الرمز يزداد بزيادة عرض حزمة النظام. أما **المصطلح الثاني** فهو عدد العينات الكلي في رمز OFDMA وهو يشير إلى عدد العينات في الرمز الواحد بوجود البادئة الدورية. وهو بالتالي تابع لعرض حزمة النظام ولنصف قطر الخلية.

تنفذ المحاكاة وفق مايلي:

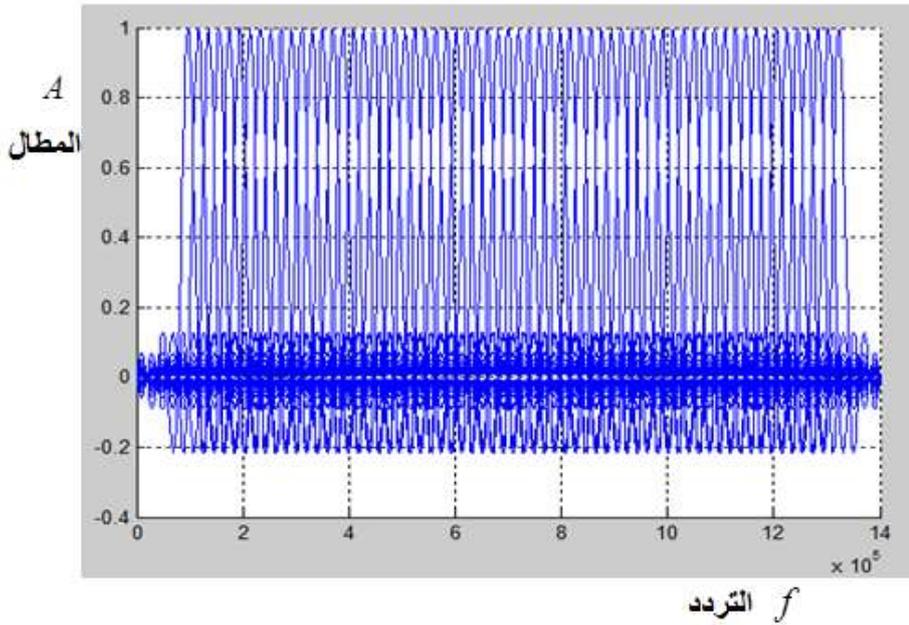
• تحديد بارامترات النظام وهي: عرض الحزمة 1.4 MHz ، التباعد بين الحوامل وقيمته 15 KHz ، وتوليد الحوامل الفرعية وعددها 64 ، ويبين الشكل (6) توليد 64 حامل فرعي، بينما يبين الشكل (7) 10 حوامل فرعية عند عرض حزمة 1.4 MHz بشكل أوضح.

• إجراء عملية التعديل، حيث تعدل الحوامل الفرعية ، ثم يجرى عليها تحويل فورييه السريع العكسي IFFT ، وتضاف البادئة الدورية.

• إضافة تأثير القناة بإضافة الضجيج الغاوسي بنسبة إشارة من 0 إلى 30 ديسبل.

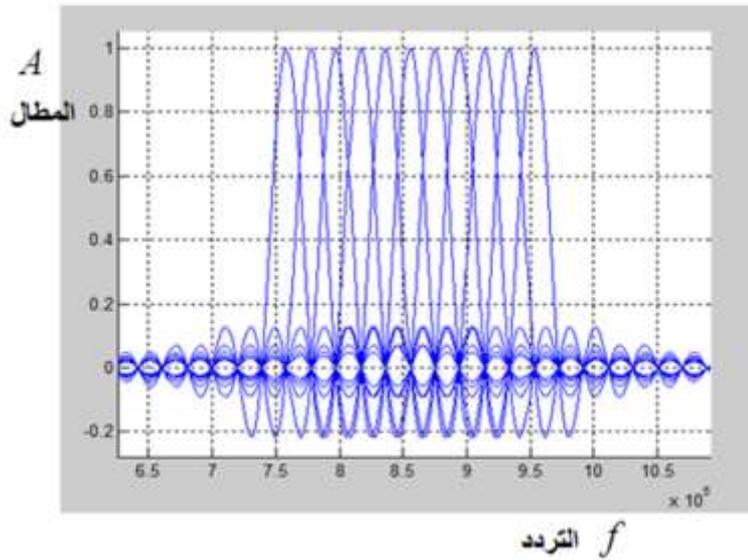
• توليد رموز OFDM .

• رسم العلاقة بين نسبة الإشارة إلى الضجيج ومعدل خطأ البت.



الشكل (6) - توليد 64 حامل عند عرض حزمة 1.4 MHz.

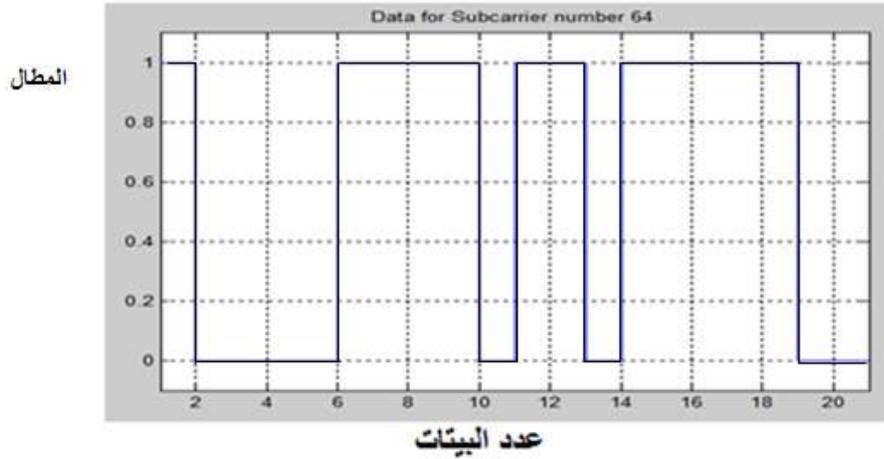
يوضح في الشكل (6) عشرة حوامل من الحوامل 64 الموجودة عند عرض الحزمة 1.4 MHz (حيث أهملت باقي الحوامل للتبسيط)، يمكن أن نلاحظ أن الحوامل متداخلة ولكنها كلها متعامدة حيث أنه عند لحظة أخذ العينات لأي حامل من الحوامل؛ أي عند النقطة التي يكون مطاله فيها أعظماً؛ تكون كل الحوامل الأخرى ذات قيم صفرية مما يسمح بفصل هذه الحوامل عن بعضها. كما نلاحظ أيضاً أن التباعد بين الحوامل هو 15 KHz.



الشكل (7) مجموعة من الحوامل عند عرض الحزمة 1.4 MHz.

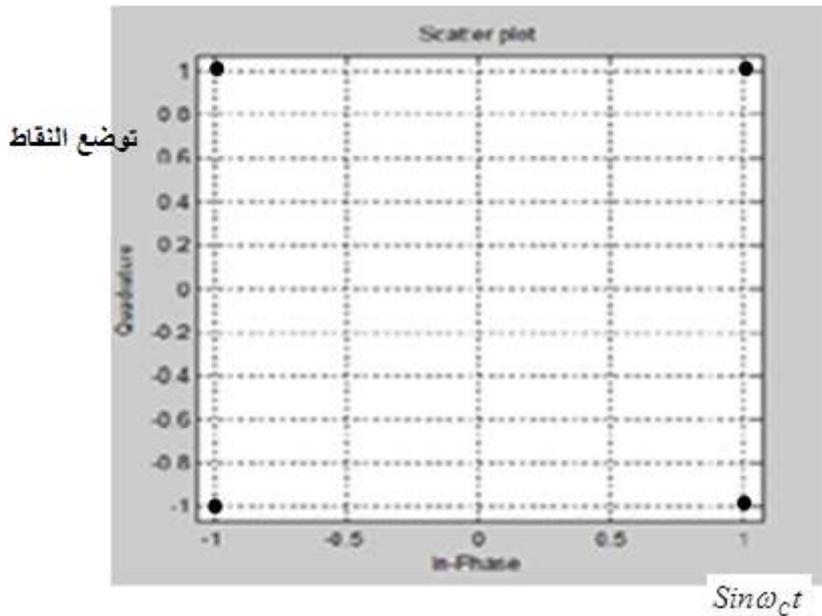
يجرى إرسال مجموعة رموز OFDMA Symbols وفق مراحل الإرسال الموضحة سابقاً. تم في هذا التطبيق إرسال 10 رموز OFDMA باستخدام كامل الحوامل الـ 64 في الخلية الصغيرة بعرض حزمة 1.4 MHz، وتم توليد

البتات التي ستقوم العقدة بإرسالها لكل مشترك، بحيث يرسل في كل رمز بتين لكل حامل، فمن أجل 10 رموز يتم إرسال 20 بت لكل حامل، يمكن ملاحظة ذلك عند رسم البتات المرسله عبر أحد الحوامل كما في الشكل (8).

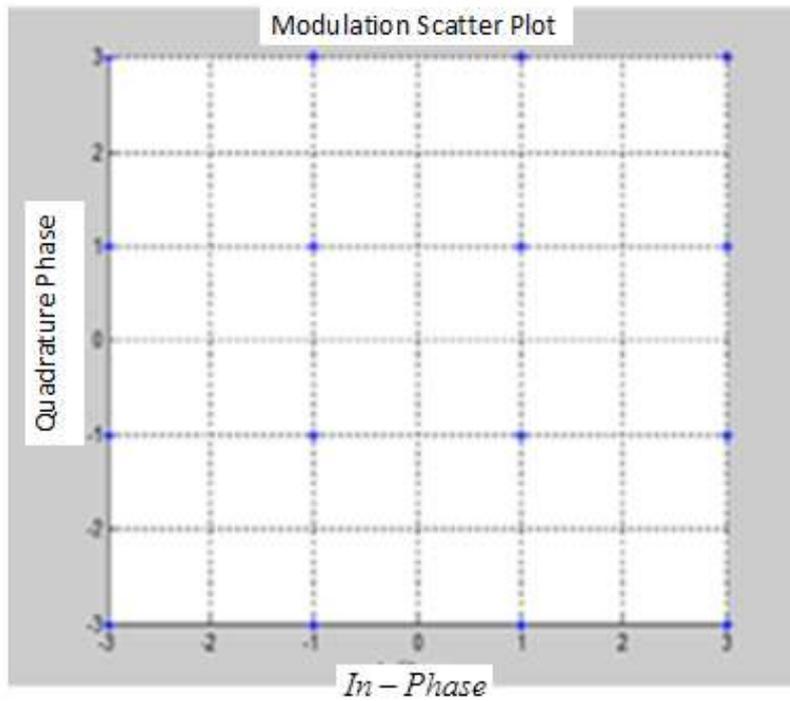


الشكل (8) البتات المرسله في 10 رموز OFDMA عبر أحد الحوامل.

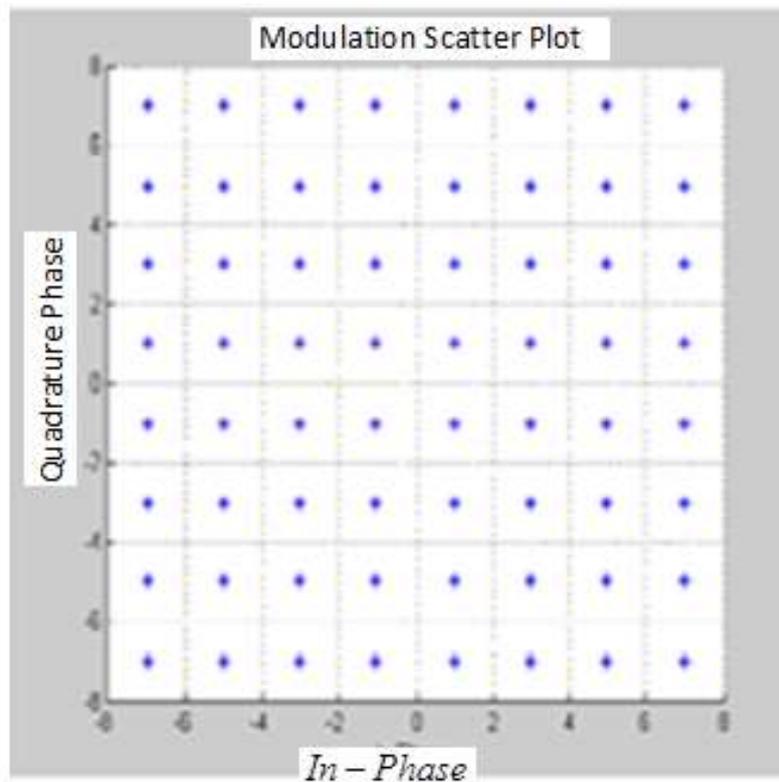
يستخدم في الجيل الرابع وما بعده نمط التعديل المتعامد مثل : QPSK أو 16QAM أو 64QAM، وذلك حسب جودة القناة، فكلما قل الضجيج يتم استخدام تعديل بمستوى أعلى للحصول على معدل نقل أكبر. يختلف مخطط التوضع النقطي حسب نمط التعديل، حيث يبين الشكل(9) مخطط التوضع النقطي ل QPSK ، والشكل (10) مخطط التوضع النقطي ل 16 QAM ، و الشكل (11) مخطط التوضع النقطي ل 64 QM .



الشكل (9) مخطط التوضع النقطي عند التعديل بنمط QPSK.



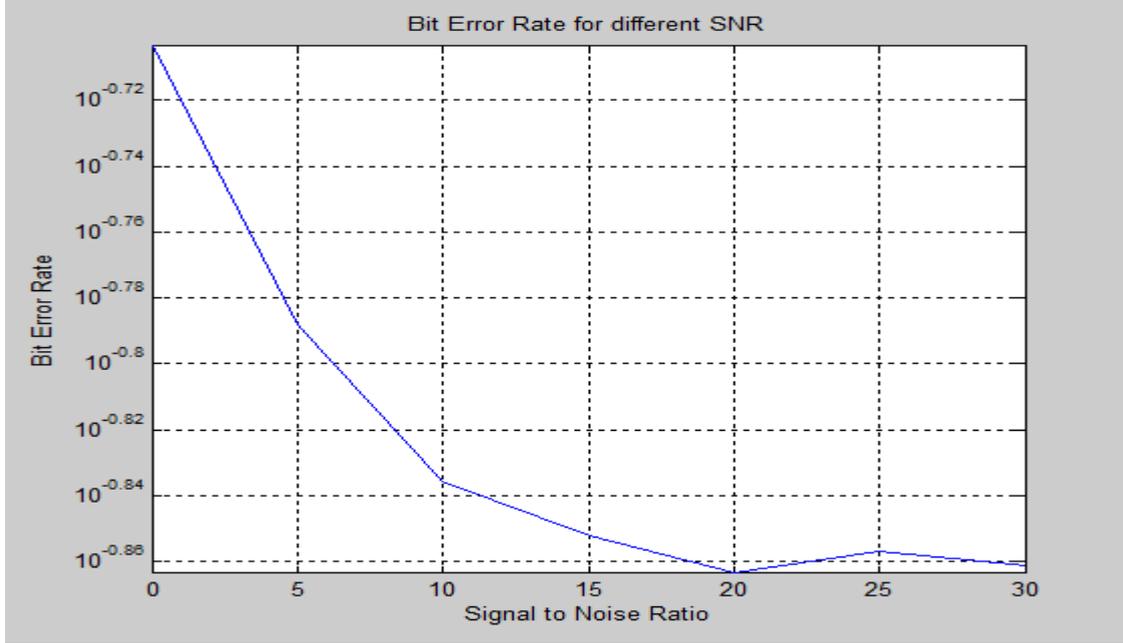
الشكل (10) مخطط التوضع النقضي عند التعديل بنمط 16 QAM.



الشكل (11) مخطط التوضع النقضي عند التعديل بنمط 64 QAM.

لدراسة معدل خطأ البت في OFDMA ندرس تغير هذا المعدل مع تغير نسبة الإشارة إلى الضجيج، لذلك نختار مجموعة من القيم لـ SNR لدراسة معدل خطأ البت عندها، كما نختار قيم تأخير القناة الناتجة من تابع

نجري عملية الاستقبال مرحلة تلو الأخرى، ونجري عملية فك التعديل، بالتحقق من الإشارة المستقبلية على كل حامل فنجد أنها مطابقة للإشارة المرسله مع وجود بعض الأخطاء أحياناً نتيجة وجود الضجيج في القناة. في النهاية نصل إلى حساب معدل خطأ البت فيكون كما في الشكل (12)



الشكل (12) تغير معدل خطأ البت في OFDMA مع تغير SNR .

يلاحظ أن معدل خطأ البت في هذا النظام تابع فقط لنسبة الإشارة إلى الضجيج وهو مستقل عن معدل البت المقدم للمشارك.

الاستنتاجات والتوصيات:

عرض في هذا العمل تحليلاً لأداء تقنية OFDM بتأثير كل من عرض الحزمة ونسبة خطأ البت على كل من رتبة التعديل و عدد الحوامل الفرعية ونسبة الإشارة إلى الضجيج في تقنية OFDM باستخدام المحاكاة البرمجية. تبين أن الحوامل المولدة تكون متداخلة ولكنها كلها متعامدة ، أي أنه عند لحظة أخذ العينات لأي حامل من الحوامل تكون كل الحوامل الأخرى ذات قيم صفرية مما يسمح بفصل هذه الحوامل عن بعضها وهذا يعني فعالية طيفية أكبر ، حيث جعلت الحزم الترددية المتجاورة متداخلة بشكل دقيق جداً مما زاد من الفعالية الترددية بشكل كبير . كما تبين أيضاً أن معدل خطأ البت مع تغيرات نسبة الإشارة إلى الضجيج يبقى في الحدود المقبولة ، وهو تابع فقط لنسبة الإشارة إلى الضجيج وهو مستقل عن معدل البت المقدم للمشارك . تقضي تقنية OFDM على ظاهرة التداخل البيئي للرموز ISI بشكل كبير ، ولكن ذلك يحتاج إلى دقة كبيرة في اختيار أبعاد البادئة الدورية بحسب عرض الحزمة المستخدم وحسب نصف قطر الخلية كما رأينا مسبقاً.

المراجع:

- 1-Blaunstein, N.; Ben Shimol, Y., "Main problems in LTE concept and the way of advanced LTE/MIMO networks performance," in Electrical & Electronics Engineers in Israel (IEEEI), 2012 IEEE 27th Convention of , vol., no., pp.1-5, 14-17 Nov. 2012
- 2-Elgendy, O.A.; Ismail, M.H.; Elsayed, K., "On the relay placement problem in a multi-cell LTE-Advanced system with co-channel interference," in Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2012 IEEE 8th International Conference on , vol., no., pp.300-307, 8-10 Oct. 2012
- 3-D.Kivanc, G.Li and H. Liu, Computationally efficient bandwidth allocation and power control for OFDMA, IEEE Trans. Wireless Commun.,2003, Vol.2, pp.1150-1158
- 4-Santosh Kumar Narware,Kanak Kumar. Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) Based MAC Protocols Survey for the Next Generation WLAN. Santosh Kumar Narware et al. 2015, Volume 3 Issue 6
- 5- S, Lee et, al., The wireless broadband (WiBro) system for broadband wireless internet services, Vol 45, pp.106-111, IEEE Communications Magazine, July 2006.
- 6-H. G. Myung, J. Lim, and D. J. Goodman, "Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission," IEEE Vehicular Technology Magazine, pp.30-38, September, 2006.
- 7- Ilija Efnusev, Vesna Stojanovska, Lazar Dinov . Performance Comparison of OFDMA and CDMA Access Technologies in Broadband Wireless Communication Networks. 18th Telecommunications forum TELFOR 2010
- 8- Keunyoung Kim, Youngnam Han and Seong-Lyun Kim, "8- Joint subcarrier and power allocation in uplink OFDMA systems, Communications Letters," IEEE, 2005, Vol.9: pp.526-528
- 9- X.Wang and W. Xiang, "An OFDM-TDMA/SA MAC protocol with QoS constraints for broadband wireless LANs," Wireless Networks, vol. 12, no. 2, pp. 159-170, 2006.
- 10- Bahadurgarh, Haryana, Bahadurgarh, Haryana, Analysis of Channel Capacity & PAPR in MIMO-OFDM System. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering Vol. 3, Issue 6, June 2015.
- 11- Ahmed M. Hamza, Jon W. Mark, Closed-Form Expressions for the BER/SER of OFDM Systems with Integer Time Offset. IEEE Transactions on Communications, 2015,
- 12- Sangram More* and K. Krishna Naik, Modelling and Simulation of IDMA-OFDM for Underwater Acoustic Communication. Defence Science Journal, Vol. 65, No. 4, July 2015, pp. 307-311, DOI:10.14429/dsj.65.8606 ∆ 2015, DESIDOC.
- 13- Andrea M. Tonello, Member, IEEE, Salvatore D'Alessandro, Student Member, IEEE and Lutz Lampe, Senior Member, IEEE, Cyclic Prefix Design and Allocation in Bit-loaded OFDM over Power Line Communication Channels. IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS – PREPRINT, JUNE 2010
- 14- Payaswini P and Manjajiah D.H, ANALYSIS OF EFFECT OF CYCLIC PREFIX ON DATA RATES IN OFDM MODULATION TECHNIQUES. International Journal of Advanced Computer and Mathematical Sciences ISSN 2230-9624. Vol 3, Issue 4, 2012, pp 465-470
- 15- Batarriere, M.; Baum, K.; Krauss, T.P., "Cyclic prefix length analysis for 4G OFDM systems," in Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th , vol.1, no., pp.543-547 Vol. 1, 26-29 Sept. 2004 doi: 10.1109/VETECONF.2004.140006,

16- Lan Yang; Shixing Cheng; Haifeng Wang, "Effects of cyclic prefix on OFDM systems over time-varying channels," in Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005. PIMRC 2005. IEEE 16th International Symposium on ,vol.2,no., pp.750-753 Vol. 2, 11-14 Sept. 2005 doi:109/ PIMRC.2005.1651543

17- H. Kwon, H. Seo, S. Kim, and B.-G. Lee, "Generalized CSMA/CA for OFDMA systems: protocol design, throughput analysis, and implementation issues," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 8, no. 8, pp. 4176-4187, Aug. 2009.

18- H. M. Alnuweiri, Y. P. Fallah, P. Nasiopoulos, and S. Khan, "OFDMA-based medium access control for next-generation WLANs," URASIP J. Wireless Commun. and Networking, vol. 2009, article ID 512865, 9 pages, 2009.