



كلية الهندسة - جامعة بغداد

Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences

مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية



اتحاد الجامعات العربية

خفض تداخل الرموز الداخلية في أنظمة OFDM باستخدام الخصائص المميزة في الرموز التجريبية

محمد عبد الرزاق بكار¹ *

قسم هندسة الاتصالات ، كلية الهندسة المعلوماتية ، جامعة الاتحاد الخاصة ، دمشق ، سوريا ، bakkarmb968@gmail.com

نشر في: 31 آذار 2020

الخلاصة – تعرض هذه المقالة نظام اتصالات لاسلكي يستخدم التعديل المطالي المتعامد Quadrature Amplitude Modulation (16QAM) ويعتمد على استخدام نظام التجميع بتقسيم التردد المتعامد Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)، يقلل نظام OFDM بشكل فعال من تداخل الرموز المسببة عن طريق الخفوت متعدد المسارات، وخاصة في حالة إرسال المعطيات ذات الحزمة العريضة (معدل الإرسال العالي للمعطيات). يوجد نوعين من تداخل الرموز: تداخل الرموز الخارجية (ITSI)، تداخل الرموز الداخلية (INSI)، يحدث تداخل الرموز الخارجية عندما يكون زمن تأخير الأمواج المنعكسة أكبر من زمن رمز OFDM، ويعالج هذا التداخل عن طريق إضافة البادئة الدورية Cyclic Prefix بين رموز OFDM المتعاقبة، بينما يحدث تداخل الرموز الداخلية عندما يكون زمن تأخير الأمواج المنعكسة أصغر من زمن رمز OFDM، في هذا العمل تم اقتراح طريقة جديدة تُعالج تداخل الرموز الداخلية، تعتمد هذه الطريقة على تقدير أزمنة التأخير للموجات المتأخرة من خلال دراسة الخصائص المميزة لإشارة OFDM والمُدخل عليها إشارة دلالية بشكل دوري في المستوي الترددي قبل عملية IFFT في جهة المرسل. قمنا في هذه الورقة بتقييم دقة تقدير طريقة التقدير المقترحة وأداء منحنى BER للنظام المقترح تحت بيئة الانتشار متعدد المسارات بواسطة المحاكاة على الحاسوب باستخدام برنامج ماتلاب.

الكلمات المفتاحية – التجميع بتقسيم التردد المتعامد ، تداخل الرموز ، تداخل الرموز الخارجية ، تداخل الرموز الداخلية.

1. المقدمة

استخدام نظام التعديل الرقمي 16QAM ، توصل إلى معدل خطأ $BER=10^{-5}$ عند القيمة $E_b/N_0=30dB$.

في عام 2012 قدم كلاً من Parneet & Amandeep Singh Sappal بحث Kaur مع تعديل الرقمي 16QAM مع تغيير طول فترة الحماية الدورية GI [2]، ضمن قناة اتصال ذات ضجيج أبيض AWGN وقناة اتصال ذات خفوت رايلي Rayleigh، توصل إلى معدل خطأ $BER=2*10^{-2}$ عند القيمة $E_b/N_0=15dB$ لقناة رايلي.

في عام 2018 قدم كلاً من Hsiao-Hwa Chen & Xiqing Liu & Weixiao Meng بحث الغاء التداخل متعدد المسار المتعاقب لأنظمة OFDM التي لا تحتوي على البادئة الدورية CP-Free [15]، حيث تم استخدام خوارزمية SMIC (Successive Multipath Interference Cancellation) ضمن قناة اتصال ذات خفوت رايلي و استخدام نظام التعديل الرقمي 16QAM وقورنت النتائج مع أنظمة OFDM التي تحتوي على البادئة الدورية CP ، من أجل الخوارزمية SMIC توصل إلى معدل خطأ $BER=10^{-4}$ عند القيمة $SNR=35dB$ ، أما في حين استخدام البادئة الدورية CP بدلاً من الخوارزمية SMIC توصل إلى معدل خطأ $BER=3*10^{-5}$ عند القيمة $SNR=35dB$ ، وهذا الكلام منطقي لأن ما ربحناه في الفعالية الطيفية باستخدام الخوارزمية SMIC خسرنه بمعدل الخطأ BER بالمقارنة مع حالة استخدام البادئة الدورية CP.

في بحثنا المدروس سيتم تقسيم تداخل الرموز ISI الناتج عن الخفوت متعدد المسارات إلى نوعين: تداخل الرموز الخارجية ITSI (inter symbol interference) ، تداخل الرموز الداخلية INSI (inner symbol interference).

إن نظام الإرسال OFDM تم استخدامه في شبكات الاتصال اللاسلكية المحلية WLAN، النظام الياباني MMAC The Multimedia Mobile Access Communication Systems Promotion Council ، أنظمة البث الإذاعي الرقمي (الراديو الرقمي DAB ، الفيديو الرقمي (DVB) [1] ، المعيار IEEE 802.11a ، خطوط الاشتراك الرقمية غير المتناظرة ADSL Asymmetric Digital Subscriber Lines [1] ، وكذلك في أنظمة الاتصالات الخلوية الحديثة (4G) ، وهو أيضاً مرشح للاستخدام في الجيل (5G) وذلك لما لهذا النظام من المزايا الأتية: يحقق معدلات إرسال عالية للمعطيات ، يحقق وفر في عرض الحزمة الترددية ، يعتبر من الأنظمة المقاومة للخفوت متعدد المسارات (أي يعالج مشكلة تداخل الرموز ISI) [1]، [6].

نذكر بعض البحوث السابقة التي نشرت في هذا المجال ليس على سبيل الحصر: في عام 1998 قدم كلاً من Gordon & Dukhyun Kim Stubler بحث بإلغاء ISI المتبقي في نظام OFDM في تطبيقات البث الإذاعي HDTV [4]، حيث تم استخدام خوارزمية Residual RISIC (Residual ISI Cancellation) ضمن قناة اتصال ذات خفوت بطيئة و استخدام نظام التعديل الرقمي 16QAM ، توصل إلى معدل خطأ $BER=10^{-5}$ عند القيمة $E_b/N_0=19dB$.

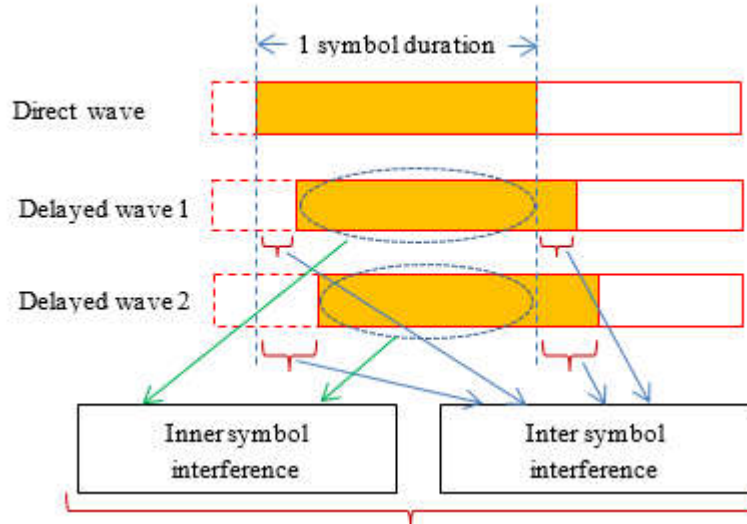
في عام 0052 قدم كلاً من Yiyun & Paul Ho & Xianbin Wang Wu بحث قوامه تصميم مخطط لنظام OFDM ذو سمات مكبوتة [14]، وهذه السمات المكبوتة هي كبت تداخل الرموز ISI، و كبت تداخل الحوامل الفرعية ICI، وذلك ضمن قناة اتصال ذات الموديل COST 207 و

INSI من خلال معطيات الرموز التجريبية المرسله وإشارة الرموز التجريبية المستقبلية بعد عملية FFT في المستقبل.

يحدث تداخل الرموز الخارجية ITSI عندما يكون زمن تأخير الأمواج المنعكسة أكبر من زمن رمز OFDM، بينما يحدث تداخل الرموز الداخلية INSI عندما يكون زمن تأخير الأمواج المنعكسة أصغر من زمن رمز OFDM، في نظام OFDM ومن أجل التغلب على تداخل الرموز الخارجية ITSI يتم إضافة فواصل حماية زمنية بين رموز OFDM، أما

من أجل التغلب على تداخل الرموز الداخلية INSI فإننا قمنا بإدخال رموز تجريبية Pilot في إطار المعلومات المرسله وسوف يتم تقدير التداخل **2. معالجة تداخل الرموز ISI في نظام OFDM:**

يبين الشكل (1) كلاً من نوعي التداخل التي تحدث على رموز OFDM:



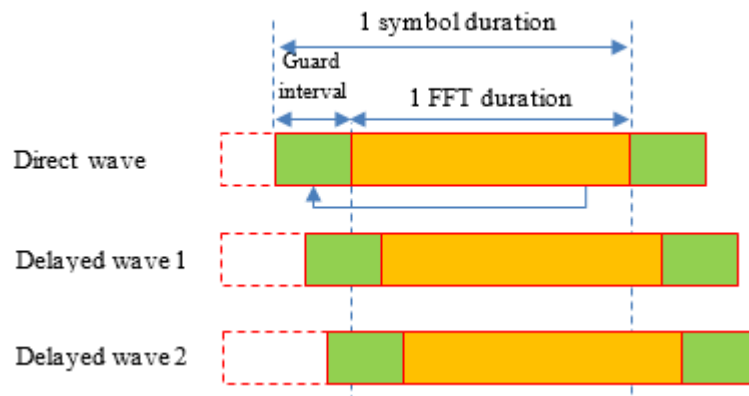
الشكل 1: أنواع تداخل ISI بين رموز OFDM .

بينما يحدث تداخل الرموز الخارجية (ITSI) ضمن فترة رمز OFDM الحالي للمسار المباشر مع باقي المسارات المتأخرة للرمز السابق.

نلاحظ من الشكل (1) يحدث تداخل الرموز الداخلية (INSI) ضمن فترة رمز OFDM للمسار المباشر مع باقي المسارات المتأخرة لنفس الرمز،

2.1 معالجة التداخل (ITSI):

يتم معالجة هذا التداخل عن طريق إضافة فاصلة حماية بين رموز OFDM وتسمى هذه الفاصلة بالبادئة الدورية (CP) [10,8] كما هو مبين بالشكل (2):



الشكل 2: معالجة تداخل الرموز ITSI بين رموز OFDM.

الحصول على رمز OFDM رقم L في إطار المعلومات والمتضمن رموز المعطيات التجريبية وبالتالي تكون رموز المعطيات على مدخل IFFT كما هو مبين بالعلاقة (1):

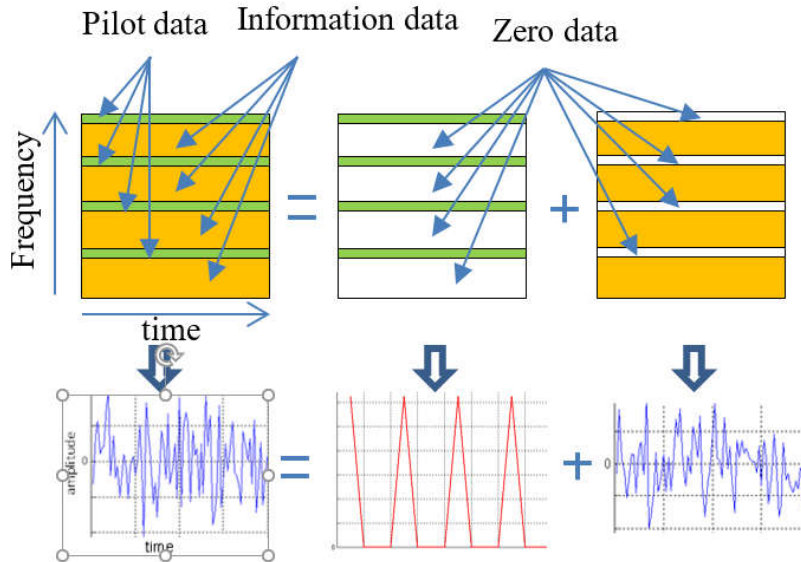
$$d_k(L) = a_k(L) + i \times b_k(L) \quad (1)$$

$$: k = 1, 2, 3, \dots, N ; i = \sqrt{-1} ; a_k(L) = \text{real part} ; b_k(L) = \text{imaginary part}$$

N : عدد الحوامل الفرعية في رمز OFDM الواحد، يتم وضع رموز المعطيات التجريبية على الحوامل الفرعية بفواصل ترددية قيمتها b بحيث تحقق الشرط التالي: $N = b \times m$ ، m : عدد الحوامل الفرعية التي تحتوي على رموز المعطيات التجريبية في رمز OFDM الواحد، وبالتالي تكون رموز المعطيات على الحوامل الفرعية كما هو مبين بالعلاقة (2):

$$d_k(L) = \begin{cases} P: \text{pilot data} & : k = 1 + b \times l \quad (l = 0, 1, 2, \dots, m-1) \\ \text{Information data} & : k \neq 1 + b \times l \quad (l = 0, 1, 2, \dots, m-1) \end{cases} \quad (2)$$

ب- يتم تمثيل رموز المعطيات التي تم توزيعها على الحوامل الفرعية وفق العلاقة الرياضية (2) كما هو مبين بالشكل (3):



الشكل 3: توزع رموز المعطيات على الحوامل الفرعية .

حيث $C(t)$: هي الإشارة المولدة في جهة الاستقبال والتي تحتوي فقط على رموز المعطيات التجريبية موزعة على الحوامل الفرعية بفواصل ذات قيمة b بحيث تحقق الشرط التالي: $N = b \times m$ بعد إجراء لها تحويل فورييه السريع العكسي IFFT تعطي بالعلاقة الرياضية (4):

$$C(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N C_k(k) e^{j2\pi \frac{(k-1)}{N} (t - (L-1)T_s - 1)} \quad (4)$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{m-1} P e^{j2\pi \frac{l}{m} (t - (L-1)T_s - 1)}$$

$$(L-1) < t \leq LT_s$$

علماً أن:

حيث يتم إجراء نسخ لطول محدد من نهاية رمز OFDM ووضعه في مقدمة الرمز كبادئة دورية ويعتمد طول البادئة الدورية المطلوبة لمنع تداخل الرموز (ITSI) على شروط القناة وعادة يتم اختياره طبقاً للقناة وعند أسوأ حالة لها.

2.2 معالجة التداخل (INSI):

يتم معالجة هذا التداخل من خلال عدة طرائق منها:

2.2.1 تقدير زمن التأخير للموجات المتأخرة من خلال خصائص الانتشار للبيانات [4-7]، [2]، [11,12, 14,15, 17]

تعتمد هذه الطريقة على دراسة الخصائص المتولدة في المجال الزمني لبعض رموز OFDM ضمن الإطار الواحد والتي تنتج عن رموز معطيات لها طبيعة معينة في المجال الترددي قبل عملية IFFT بحيث ينتج لدينا عينات في المجال الزمني لها قيم مطلوبة معينة يمكن من خلال المسافة بين هذه القيم حساب زمن التأخير للمسارات المتأخرة، تتم معالجة التداخل (INSI) في هذه الطريقة من خلال الخطوات الآتية:

أ- يتم إدخال رموز معطيات تجريبية عقديّة على الحوامل الفرعية وبمسافات ترددية متساوية وثابتة بين الحوامل الفرعية، من أجل

نلاحظ من الشكل (3) أن كل رمز OFDM يمكن أن يتم تمثيله بمجموع إشارتين (إشارة الرموز التجريبية وإشارة رموز المعطيات)، وبعد إجراء تحويل فورييه السريع العكسي IFFT لرموز OFDM نلاحظ أن إشارة الرموز التجريبية تُعطي في المستوى الزمني قيم متساوية الفواصل فيما بينها وهذا الكلام ينطبق على إشارة الرموز التجريبية في المسارات المتأخرة وبالتالي من خلال المسافة بين القيم التي تظهر من الرموز التجريبية في الإشارة المستقبلية والتي تتضمن المسار المباشرة والمسارات المتأخرة سيتم تقدير التأخير الزمني للمسارات المتأخرة.

ت- للحصول على القيم المطلية في المستوى الزمني في الإشارة المستقبلية، يجب توليد في جهة الاستقبال إشارة تحتوي فقط على رموز المعطيات التجريبية المرسلّة وإجراء لها IFFT، ثم إجراء ارتباط لمرافق هذه الإشارة مع الإشارة المستقبلية وفق العلاقة الرياضية:

$$\int_0^{T_s} r(t) \times C^*(t) dt \quad (3)$$

من الحد الأول من العلاقة (7) إذا كان ξ عدد صحيح من مضاريب m أي $\{exp(2\pi l/m) \times \xi\}$ عندئذ يكون الحد $(\xi = m \times integer)$ يساوي الواحد حيث: $[l = 0 \dots (m - 1)]$ ، أما إذا كان ξ ليس عدد صحيح من مضاريب m عندئذ يكون مجموع الحد $\{exp(2\pi l/m) \times \xi\}$ يساوي الصفر حيث: $[l = 0 \dots (m - 1)]$.

من الحد الثاني من العلاقة (7) إذا كان $(\xi - \tau_\eta)$ عدد صحيح من مضاريب m أي أن $(\xi - \tau_\eta = m \times integer)$ عندئذ يكون الحد $\{exp(2\pi l/m) \times (\xi - \tau_\eta)\}$ يساوي الواحد حيث: $[l = 0 \dots (m - 1)]$ أما إذا كان $(\xi - \tau_\eta)$ ليس عدد صحيح من مضاريب m عندئذ يكون مجموع الحد $\{exp(2\pi l/m) \times (\xi - \tau_\eta)\}$ يساوي الصفر حيث: $[l = 0 \dots (m - 1)]$.

بفرض كان لدينا مسار مباشر ومسار متأخر بمقدار τ عندئذ تصبح العلاقة (7) وفق العلاقة الرياضية (8):

$$\int_0^{T_s} r(t) \times C^*(t) dt = \sum_{l=0}^{m-1} \left\{ \frac{T_s P^2}{N} \alpha e^{j\theta} e^{j2\pi \frac{l}{m} \xi} + \frac{T_s P^2}{N} \beta e^{j\phi} e^{j2\pi \frac{l}{m} (\xi - \tau)} \right\} = \sum_{l=0}^{m-1} \left(\frac{T_s P^2}{N} \alpha e^{j\theta} e^{j2\pi \frac{l}{m} \xi} + \sum_{l=0}^{m-1} \left(\frac{T_s P^2}{N} \beta e^{j\phi} e^{j2\pi \frac{l}{m} (\xi - \tau)} \right) \right) \quad (8)$$

من العلاقة (8) وبفرض أن ξ يأخذ القيم ضمن المجال $[l = 0 \dots (m - 1)]$ نبين ما يلي:

أ- الحد الأول من العلاقة يمثل الإشارة المستقبلية من المسار المباشر وهي عبارة عن قمم في المستوي الزمني عدد هذه القمم هو b متوضعة على محور الزمن من 0 حتى $N - 1$.

ب- الحد الثاني من العلاقة يمثل الإشارة المستقبلية من المسار المتأخر وهي عبارة عن قمم في المستوي الزمني عدد هذه القمم هو b متوضعة على محور الزمن من τ حتى $N - 1 + \tau$ وبالتالي تكون هذه القمم متوضعة بنفس أماكن القمم الناتجة عن الحد الأول من العلاقة ولكن مزاحة زمنياً عنها بمقدار τ ، استناداً إلى [3,13,9] النظام المستخدم له البارامترات الآتية:

- عدد نقاط FFT .N=64

- معدل الرموز في الحامل الفرعي: 256ksymbol/sec أي أن $T_s = 1/256 * 10^3 = 3.90625 \mu\text{sec}$

- المسافة بين الرموز التجريبية: b=4 subcarriers أي أن $N = b * m = 64/4 = 16$ وبالتالي

- قيمة رموز المعطيات التجريبية: P=10، عندئذ يمكن رسم القمم لكلا المسارين اعتماداً على العلاقة (8).

في ظل البارامترات السابقة تكون رموز المعطيات على مدخل IFFT وهي عبارة عن رموز تجريبية عددها 16 قيمها P=10 متوضعة بفواصل b=4 وباقي الرموز قيمها أصفار والتي ينتج عنها الإشارة C(t).

استناداً إلى العلاقة الرياضية (4) يتم توليد الرموز التجريبية ضمن شعاع وفق العلاقة الرياضية (9):

$$C_L(k) = ap_k(L) + i \times bp_k(L)$$

$$(k = 1, 2, 3, \dots \dots N)$$

$$C_L(k) = \begin{cases} P: Pilot data & : k = 1 + b \times l \quad (l = 0, 1, 2, 3, \dots, m - 1) \\ 0 & : k \neq 1 + b \times l \quad (l = 0, 1, 2, 3, \dots, m - 1) \end{cases}$$

حيث: $C_L(k)$ يمثل رموز المعطيات التجريبية العقدية، قسمها الحقيقي هو $ap_k(L)$ والتخيلي هو $bp_k(L)$ (في بحثنا تم اعتبار رموز المعطيات التجريبية لها قسم حقيقي فقط وذات قيمة ثابتة وهي $P=10$) ، T_s هو زمن رمز OFDM الواحد وهو نفس قيمة مقلوب معدل الرموز في الحامل الفرعي، تعطي الإشارة المستقبلية بالعلاقة الرياضية (5):

$$r(t) = \sum_{k=1}^N \left\{ \alpha d_k(L) e^{j\theta} e^{j2\pi \frac{(k-1)}{N} (t - (L-1)T_s - 1)} + \sum_{\eta=1}^n \left(\beta_\eta d_k(L) e^{j\phi_\eta} e^{j2\pi \frac{(k-1)}{N} (t - (L-1)T_s - 1 - \tau_\eta)} \right) \right\} \quad (5)$$

حيث: θ, α هي طولية و طور الاستجابة النبضية للقناة الخاصة بالمسار المباشر على الترتيب، ϕ_η, β_η هي طولية و طور الاستجابة النبضية للقنوات الخاصة بالمسارات المتأخرة على الترتيب.

يمثل الجزء الأول من العلاقة (5) الإشارة المستقبلية من المسار المباشر، أما الجزء الثاني منها فهو يمثل الإشارة المستقبلية من المسارات المتأخرة.

من العلاقتين (4) و (5) نعوض بالعلاقة (3) فنجد:

$$\int_0^{T_s} r(t) \times C^*(t) dt = \int_0^{T_s} \sum_{k=1}^N \left\{ \alpha d_k(L) e^{j\theta} e^{j2\pi \frac{(k-1)}{N} (t - (L-1)T_s - 1 + \xi)} + \sum_{\eta=1}^n \left(\beta_\eta d_k(L) e^{j\phi_\eta} e^{j2\pi \frac{(k-1)}{N} (t - (L-1)T_s - 1 - \tau_\eta + \xi)} \right) \right\} \times \left\{ \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{m-1} \left(P e^{-j2\pi \frac{l}{m} (t - (L-1)T_s - 1)} \right) \right\} dt \quad (6)$$

باختصار العلاقة (6) نحصل على العلاقة (7):

$$\int_0^{T_s} r(t) \times C^*(t) dt = \sum_{l=0}^{m-1} \left\{ \frac{T_s P^2}{N} \alpha e^{j\theta} e^{j2\pi \frac{l}{m} \xi} + \sum_{\eta=1}^n \frac{T_s P^2}{N} \beta_\eta e^{j\phi_\eta} e^{j2\pi \frac{l}{m} (\xi - \tau_\eta)} \right\} \quad (7)$$

حيث: ξ يمثل الزمن الذي نبدأ عنده بأخذ الارتباط بين الإشارتين $r(t), C^*(t)$ ويحقق العلاقة $(L - 1) < \xi \leq LT_s$ ، ويمكن استناداً للعلاقة (7) ملاحظة ما يلي:

أولاً: بعد تقدير زمن التأخير يجب توليد إشارة نسخة طبق الأصل عن الإشارة المتأخرة من أجل إلغاء أثرها واستقبال المسار المباشر فقط، من أجل ذلك قمنا بتوليد إطار معلومات في جهة المرسل مؤلف من عدة رموز OFDM، أول رمز OFDM في بداية الإطار مؤلف من رموز معطيات pilot (هدفها معرفة التأخير الزمني بين المسار المباشر وباقي المسارات المتأخرة) ورموز معطيات معروفة (هدفها من أجل تقدير استجابة القناة)، حيث أول رمز OFDM في بداية الإطار يُبنى وفق العلاقة (9) ولكن عوضاً عن الأصفار نضع رموز معطيات معروفة بحيث تكون من ضمن خريطة رموز التعديل الرقمي المستخدم مثلاً $(3 + 3j)$ ، أما رموز الـ OFDM اللاحقة في الإطار فهي رموز المعلومات المرسلة (المفيدة)، تم اعتبار أثر خفوت رايلي (Rayleigh) ثابت ضمن فترة الإطار الواحد.

ثانياً: في جهة الاستقبال يتم توليد الإشارة $C(t)$ وإجراء ارتباط بين الإشارة المستقبلية $r(t)$ والإشارة $C^*(t)$ من أجل حساب تأخير المسار المتأخر عن المسار المباشر، بعد ذلك من خلال رموز المعطيات المعروفة والموجودة في رمز OFDM الأول الموجود في بداية الإطار نقوم بحساب كلاً من خفوت رايلي للمسار المباشر والمسار المتأخر بعد ذلك يتم توليد إشارة صورة طبق الأصل عن الإشارة المتأخرة من أجل إلغاء أثر الإشارة المتأخرة على الإشارة المستقبلية.

3. المحاكاة والنتائج Simulation and Results:

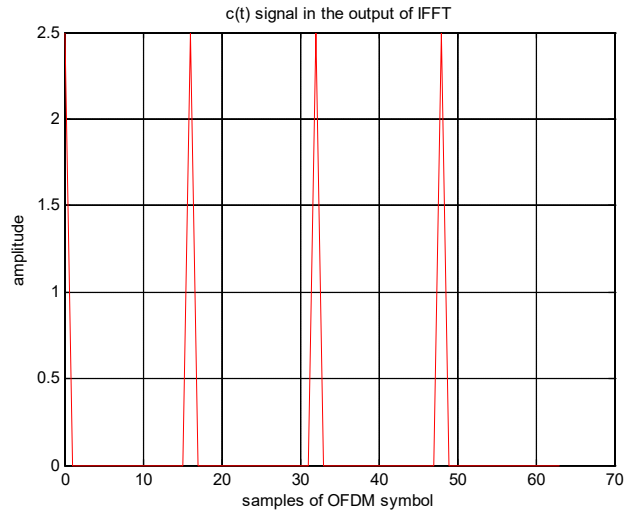
تمت المحاكاة عند البارامترات الآتية:

- عدد نقاط FFT. $N=64$ وهي نفس عدد الحوامل الفرعية في رمز OFDM الواحد.
- فاصلة الحماية: $CP=N/4=16$ عينة زمنية في بداية كل رمز OFDM.
- معدل الرموز في الحامل الفرعي: 256ksymbol/sec، أي أن $T_s=1/256*103=3.90625\mu\text{sec}$.
- المسافة بين الرموز التجريبية: $b=4$ subcarriers، أي أن $N=b*m$ وبالتالي $m=64/4=16$ ، أي أن عدد الحوامل الفرعية التي تحتوي على رموز المعطيات التجريبية في رمز OFDM الواحد هو 16 subcarrier.
- قيمة رموز المعطيات التجريبية: $P=10$.
- عدد رموز OFDM ضمن الإطار الواحد هو: $X=7$.
- معدل الإرسال: $R=53.248$ Mbps.
- نوع التعديل المستخدم: QAM16.
- الإشارة المستقبلية: (مسار مباشر + مسار متأخر).
- تأخير المسار المباشر: $\tau=8$ عينة زمنية.
- قناة الاتصال: قناة Rayleigh.
- قيمة رموز المعطيات المعروفة في رمز OFDM الأول من كل إطار هو: $n_data=3+3j$.

تم إجراء محاكاة على برنامج Matlab [16] فحصلنا على منحنى BER اعتماداً على ما سبق في معالجة INSI.

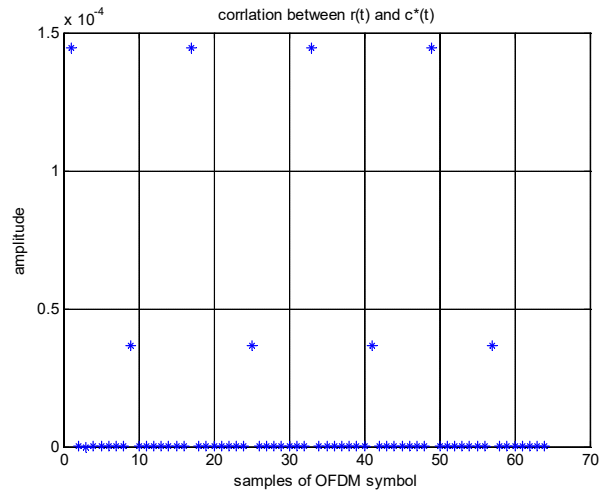
$$C_{1,64} = [10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000 \ 10 \ 000] \quad (9)$$

يبين الشكل (4) معكوس تحويل فورييه للشعاع $C_{1,64}$:



الشكل 4: الإشارة $C(t)$ في المجال الزمني.

بفرض كان لدينا مسار مباشر ومسار متأخر بمقدار $\tau = 8$ واستناداً للعلاقة (8)، يبين الشكل (5) ناتج هذه العلاقة، علماً أن قيمة $m = 16$ ، وقيمة τ تأخذ القيم من 0 حتى $N - 1$:



الشكل 5: تقدير التأخير الزمني بين القيم المختلفة.

من الشكل (5) نلاحظ أن المسافة بين القيم الكبيرة والقيم الصغيرة هو زمن تأخير المسار المتأخر عن المسار المباشر، ونلاحظ أن قيمته هي $\tau = 8$ وهي نفس قيمة التأخير الذي تم فرضها.

2.2.2 تقدير الموجة المتأخرة (المسار غير المباشر) [13]:

يتم كما يلي:

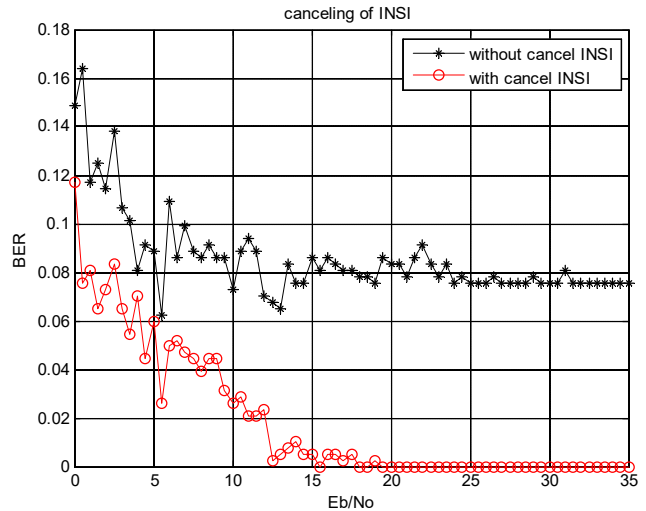
Institute of Electrical and Electronics "IEEE"	معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات
WLAN standard (U.S.) based on OFDM, with a maximum data rate of 54 Mbps. "IEEE802.11a"	المعيار الأمريكي للشبكات اللاسلكية المحلية
Inverse Fast Fourier Transform "IFFT"	تحويل فورييه السريع العكسي
Information data	معلومات المعلومات
Inner symbol Interference "INSI"	تداخل الرموز الداخلية
Inter symbol Interference "ITSI"	تداخل الرموز الخارجية
Inter-symbol Interference "ISI"	تداخل الرموز
The Multimedia Mobile Access Communication Systems Promotion Council "MMAC"	مجلس ترقية أنظمة اتصال الوصول النقال المتعدد الوسائط
Orthogonal Frequency Division Multiplexing "OFDM"	التقسيم الترددي المتعامد
Pilot data	المعطيات الدليلية (التجريبية)
Quadrature Amplitude Modulation "QAM"	التعديل الرقمي المطالي المتعامد
Residual ISI Cancellation "RISIC"	إلغاء تداخل الرموز المتبقية
Successive Multipath Interference Cancellation "SMIC"	إلغاء التداخل متعدد المسارات المتعاقب
Signal to Noise Ratio "SNR"	نسبة الإشارة إلى الضجيج
Wireless Local Area Network "WLAN"	الشبكة اللاسلكية المحلية

المراجع:

[1] AJOY, K.D. AVIJIT, S. (2010) "OFDM System Analysis for reduction of Inter Symbol Interference Using the AWGN Channel Platform", (IJACSA) Journal, Vol. 1, No. 5, pp.123-125.

[2] AMANDEEP, S.S. PARNEET, K. (2012) "BER performance of OFDM system with 16-QAM and varying length of guard interval", International Journal of Electronics and Electrical Engineering, Vol. 2, No. 3, pp.1-8.

[3] BAHAI, A.R.S SALTZBERG, B.R. ERGEN, M. (2004) "Multi-carrier digital communications theory and applications of OFDM", Springer



الشكل 6: منحنى معدل الخطأ BER مع النسبة E_b / N_o قبل وبعد معالجة INSI

4. الاستنتاجات: Conclusions

بعد دراسة وإجراء محاكاة لخوارزمية معالجة تداخل الرموز الداخلية (INSI) وذلك باستخدام برنامج Matlab استطعنا من خلال هذا البحث أن نستنتج ما يلي:

1- بينت النتائج أن منحنى أداء الخطأ BER سوف يتحسن عند تكون قيم النسبة E_b / N_o أعلى من القيمة $E_b / N_o = 15 \text{ dB}$ وبالتالي فإن هذه الخوارزمية فعالة في التخلص من تداخل الرموز الداخلية عند قيم أعلى من القيمة (15dB) للنسبة E_b / N_o .

2- تصبح هذه الخوارزمية فعالة جداً عند القيم المنخفضة للنسبة E_b / N_o وذلك عند استخدام خوارزميات دقيقة خاصة بتقدير ثوابت قناة الاتصال.

5. مسرد المصطلحات:

Asymmetric Digital Subscriber Lines "ADSL"	خطوط الاشتراك الرقمية غير المتناظرة
Additive White Gaussian Noise "AWGN"	الضجيج الأبيض
Bit Error Rate "BER"	معدل خطأ البت
Cyclic Prefix "CP"	البادئة الدورية
Decibel (ratio in log scale) "dB"	الديسبل (وحدة قياس)
Digital Audio Broadcasting "DAB"	بث الراديو الرقمي
Digital Video Broadcasting "DVB"	بث الفيديو الرقمي
Energy per Bit to Noise Density Ratio " E_b/N_o "	نسبة طاقة البت إلى كثافة الضجيج
Fast Fourier Transform "FFT"	تحويل فورييه السريع
High-Definition Television "HDTV"	تلفزيون المعرفة العالية
Inter-carrier Interference "ICI"	تداخل الحوامل الفرعية

- [14] XIANBIN, W. PAUL, H. YIYAN, W. (2005) "Robust Channel Estimation and ISI Cancellation for OFDM Systems with Suppressed Features", IEEE journal on selected areas in communications, Vol. 23, No. 5, pp.963-972.
- [15] XIQING, L. HSIAO, H.C. WEIXIAO, M. and Bo-Yu, L. (2018) "Successive Multipath Interference Cancellation for CP-Free OFDM Systems", IEEE systems journal, pp.1-10.
- [16] YONG, S.C. JAEKWON, K. WON, Y.Y. and CHUNG, G.K. (2010) "MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB", John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, 457p.
- [17] ZHI, Y. WENLE, B. ZEMIN, L. (2006) " A Decision-Aided Residual ISI Cancellation Algorithm for OFDM Systems", (IEEE), ICSP2006 Proceedings, pp. 1-4.
- Science + Business Media, Second Edition, Boston, 414p.
- [4] DUKHYUN, H. GORDON, L.S. (1998) "Residual ISI Cancellation for OFDM with Applications to HDTV Broadcasting", IEEE journal on selected areas in communications, Vol. 16, No. 8, pp.1590-1599.
- [5] KENKICHI, T. TAKAHIKO, S. (2001) "A Novel Symbol Synchronization Algorithm with Reduced Influence of ISI for OFDM Systems", IEEE, pp. 524-528.
- [6] KRATIKA, R. BRIJESH, K. (2015) "Inter-Symbol Interference Reduction by Orthogonal Frequency Division Multiplexing", (IJSER) International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 2, pp.66-68.
- [7] PABLO, T. MANUEL, G.S. (2011) " Intrasymbol Interference in OFDM", (IEEE), pp. 447-449.
- [8] PRAFULLA.D.G. SIRDDHARTH, A.L. (2013) "BER performance of OFDM SYSTEM with cyclic prefix & zero padding", (IJAET) International Journal of Advances in Engineering & Technology, Vol. 6, No. 1, pp.316-324.
- [9] PRASAD, R. (2004) "OFDM for Wireless Communications Systems", Artech House, Inc., 291p.
- [10] ROHLING, H. (2011) "OFDM Concepts for Future Communication Systems", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 268p.
- [11] SCOTT, L.L. (2003) "A Comparison of 64-QAM and 16-QAM DVB-T under Long Echo Delay Multipath Conditions", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 49, No. 4, pp.978-982.
- [12] SHAOPING, C. CUITAO, Z (2004) "ICI and ISI Analysis and Mitigation for OFDM Systems with Insufficient Cyclic Prefix in Time-Varying Channels", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 1, pp.78-83.
- [13] SINEM, C. MUSTAFA, E. ANUJ, P. AHMAD, B. (2002) "Channel Estimation Techniques Based on Pilot Arrangement in OFDM Systems", IEEE transactions on broadcasting, Vol. 48, No. 3, pp.223-229.

Inner-symbol Interference (INSI) reduction in OFDM system using distinctive characteristics of the pilot symbols

Mohammad Bakkar

Department of Communication Engineering , Faculty of Informatics Engineering , Ittihad Private University (IPU) , Damascus , Syria, E-mail: bakkarb968@gmail.com

Published online: 31 March 2020

Abstract— This research presents a wireless communication system using Quadrature Amplitude Modulation (16QAM) depending on using of the Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). OFDM transmission system can effectively reduce inter symbol interference (ISI) caused by multipath fading, especially in the case of broadband data transmission. There are two kind of interference; inter symbol interference (ITSI) and inner symbol interference (INSI). ITSI is the interference caused by the delayed waves with larger than OFDM symbol duration, in order to avoid ITSI effectively, we insert guard interval every each OFDM symbol. On other hands, INSI is the interference caused by the delayed waves with less than OFDM symbol duration. To avoid INSI, this work proposes a new scheme in order to estimate the times of delayed waves by using distinctive characteristics of OFDM signal, which is inserted pilot signal periodically in frequency axis before IFFT at the transmitter. In this paper, we evaluate the estimation accuracy of the proposed estimation method and the BER performance of the proposed system under multipath fading environment by computer simulation with MATLAB.

Keywords— Orthogonal Frequency Division Multiplexing , Inter-symbol Interference , Inner symbol Interference.