

تحسين أداء نظام MIMO-OFDM باستخدام الترميز الالتفافي والتحويل المويجي المتقطع

الدكتورة مريم ساعي*

همام جرجو**

(تاريخ الإيداع 19 / 6 / 2014. قُبل للنشر في 23 / 9 / 2014)

□ ملخص □

يقدم البحث طريقة جديدة لتحسين أداء نظام Multiple Input Multiple Output-Orthogonal Frequency Division Multiplexing (MIMO-OFDM) عن طريق إنقاص معدل خطأ البت Bit Error Rate (BER) باستخدام كل من الترميز الالتفافي Convolutional Coding (CC) والتحويل المويجي المتقطع Discrete Wavelet Transform (DWT). تم نمذجة نظام OFDM بهوائي وحيد في طرف الإرسال وهوائي وحيد في طرف الاستقبال Single Input Single Output (SISO)، ومن ثم تحسينه بتقنية Multiple Input Single Output (MISO) عبر إضافة هوائي ثانٍ في طرف الإرسال، وبتقنية MIMO عبر إضافة هوائي ثانٍ في طرف الإرسال وهوائي ثانٍ في طرف الاستقبال، ومن ثم تحسين نظام MIMO-OFDM باستخدام الترميز الالتفافي بمعدل ترميز 1/2، ثم باستخدام التحويل المويجي المتقطع بعائلة Haar بدلاً من Fast Fourier Transform (FFT)، ثم باستخدام كل من الترميز الالتفافي والتحويل المويجي المتقطع معاً علماً أن قنوات الاتصال المستخدمة في الدراسة هي قنوات خفوت نوع ريسان Rician و رايلي Rayleigh وأن التعديل المستخدم هو Binary Phase Shift Keying (BPSK) وأن عدد الحوامل الترددية 64. يعتمد البحث على دراسة BER تبعاً لطاقة البت إلى كثافة طاقة الضجيج E_b/N_0 وذلك باستخدام برنامج MATLAB. وتظهر النتائج أن استخدام كل من الترميز الالتفافي والتحويل المويجي المتقطع في نظام MIMO-OFDM يقلل E_b/N_0 بمقدار 3.4 dB مرة بحالة قناة خفوت رايليو بمقدار 4.6 dB مرة بحالة قناة خفوت ريسان عندما يكون $BER=10^{-3}$.

الكلمات المفتاحية: التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد، دخل متعدد خرج متعدد، الترميز الالتفافي، التحويل المويجي،

* أستاذ مساعد - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية
** طالب دراسات عليا - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Performance improvement of MIMO-OFDM system using Convolutional Coding and Discrete Wavelet Transform

Dr. Mariam SAII*
Hammam JARJOR**

(Received 19 / 6 / 2014. Accepted 23 / 9 / 2014)

□ ABSTRACT □

This research introduce a new method to improve performance of Multiple Input Multiple Output-Orthogonal Frequency Division Multiplexing (MIMO-OFDM) system by decreasing Bit Error Rate(BER) usingboth Convolutional Coding (CC) and Discrete Wavelet Transform (DWT). OFDM system is modeled with one antenna at the sending side and a single antenna at the receiving side Single Input Single Output (SISO), and then enhancing it with Multiple Input Single Output (MISO) technique by adding a second antenna at the sender besides using MIMO technique which adds a second antenna at each of the sender and receiver and then Improving the MIMO-OFDM system using the Convolutional Coding with 1/2 coding rate, and replacing the Fast Fourier Transform (FFT) with DWTfrom Haar family knowing that the used communication channels in this study are Rician fading channel and Rayleigh fading channel. The used modulation is Binary Phase Shift Keying (BPSK) and the number of carriers is 64. This research studies the BER as function to E_b/N_0 using MATLAB. The results show thatthe use of both CC and DWTin MIMO-OFDM system reduce E_b/N_0 3.4 dB times in Rayleigh fading channel and 4.6 dBtimes in Rician fading channel when $BER=10^{-3}$.

Key words: Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Multiple Input Multiple Output, Convolutional Coding, Discrete Wavelet Transform.

*Assistant De Professor, Department of Computer and automatic control, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Graduate student, Department of Computer and automatic control, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة :

تعاني الإشارة التي يتم إرسالها عبر قناة الاتصال اللاسلكية من ظاهرة تعدد المسارات، فتصل إلى المستقبل نسخ متعددة من الإشارة يسلك كل منها مسار مختلف عن الآخر وبالتالي تعاني كل نسخة من تخميد وتأخير وإزاحة طورية بشكل مختلف عن نسخة أخرى، وعند تجميع هذه النسخ المختلفة عند المستقبل قد تتدنى نوعية الإشارة الأمر الذي يفرض علينا تحدياً في كيفية النقل من هذه الظاهرة. التحدي الثاني هو تأمين سرعة عالية في نقل البيانات مع محدودية المجال الترددي المتاح. يستخدم نظام MIMO من أجل تأمين نظام اتصال لاسلكي عالي السرعة وعالي الموثوقية دون أي زيادة في عرض الحزمة المتوفر ودون زيادة في استطاعة الإرسال. يستخدم نظام MIMO أكثر من هوائي واحد عند كل من المرسل والمستقبل [1]. كما أن بيئة الانتشار متعددة المسار في أنظمة الاتصالات التي تتطلب معدل بيانات عالي تجعل القناة انتقائية-التردد (frequency-selective) الأمر الذي يجعل تصميم المستقبل معقد بشكل كبير، لكن نظام OFDM يجرىء القناة انتقائية التردد إلى N قناة جزئية مسطحة- التردد (frequency-flat) [2].

تطورت الاتصالات النقالة اللاسلكية تاريخياً من الجيل الأول عندما كان هذا النظام تشابهاً وأمن الخدمة الصوتية فقط، ثم جاء الجيل الثاني لأنظمة الاتصالات النقالة الرقمية والذي امتك أداءً أفضل لاستخدامه تقنيات TDMA أو FDMA إلا أنه كان محدوداً بعرض الحزمة، وبعدها ظهر الجيل الثالث ليعزز معدل البيانات لكن التطور المستمر في تطبيقات الوسائط المتعددة جعل معدل البيانات المستخدم غير كاف. يجب أن يملك الاتصال اللاسلكي فعالية طيفية عالية و قدرة على مقاومة خفوت القناة في البيئة متعددة المسار، ومن الصعب تحقيق هذه المتطلبات بتقنيات التعديل التقليدية، لكن نظام MIMO-OFDM يمكن أن يحقق هذه المتطلبات [3].

بالرغم من أن نظام MIMO-OFDM تقنية جديدة في الشبكات اللاسلكية إلا أنه لاقى مؤخرًا اهتماماً ملحوظاً نظراً للتحسين الذي يقدمه في زيادة سرعة نقل البيانات وفي وثوقية هذه البيانات، ويوجد الكثير من الدراسات السابقة التي تناولت كل تقنية منهما على حدة وطرق تحسينها، كما يوجد دراسات تناولت النظام ككل (MIMO-OFDM) وعملت على تحسين أدائه، وسنتطرق فيما يلي إلى بعض تلك الدراسات :

• تمت دراسة ومحاكاة لنظام MIMO-OFDM بقناة خفوت رايلي وباستخدام تعديل نوع BPSK وباستخدام الترميز الالتفافي بمعدل ترميز $1/2$ ، وأظهرت النتائج أن النظام يمتلك وثوقية عالية وأن هذه الوثوقية تزداد بزيادة عدد الهوائيات المستخدمة في الإرسال أو الاستقبال، كما أظهرت النتائج أن زيادة عدد الحوامل الترددية يقلل من وثوقية النظام لأن التداخل بين الحوامل الجزئية يزداد بزيادة عدد الحوامل الترددية [3].

• تم إجراء مقارنة بين نظام OFDM (FFT) ونظام OFDM (DWT) وباستخدام طرق تعديل متعددة وقناة اتصال نوع Additive White Gaussian Noise (AWGN) وقناة خفوت رايلي، وأظهرت أحد النتائج أن استخدام DWT في نظام OFDM يحقق توفير في استطاعة الإرسال مقداره 1.2 dB مرة من نظام OFDM التقليدي الذي يستخدم FFT عندما يكون $BER=10^{-3}$ ، ولم تتطرق هذه الدراسة إلى نظام MIMO [4].

• تم دراسة أداء نظام MIMO-OFDM والعمل على تحسين أدائه باستخدام ترميز توربو بمعدل ترميز $2/3$ علماً أن التعديل المستخدم 16-QAM وقناة الاتصال AWGN، وأظهرت النتائج أن استخدام ترميز توربو في نظام MIMO-OFDM يحقق توفير في استطاعة الإرسال مقداره 4 dB مرة من نظام MIMO-OFDM غير المرمز عندما يكون $BER=10^{-3}$ ، ولم تتطرق هذه الدراسة إلى قنوات الخفوت رايلي وريسيان [5].

• تم دراسة أداء نظام MIMO-OFDM باستخدام طرق تعديل مختلفة وبقناة خفوت نوع رايلي، وأظهرت النتائج أن حالة استخدام استطاعات إرسال غير متساوية عند هوائيات الإرسال بحيث يحصل هوائي الإرسال الأول على استطاعة أكبر من هوائي الإرسال الثاني يحقق توفير في استطاعة الإرسال مقداره 1.33 dB مرة من حالة استخدام استطاعات إرسال متساوية عندما يكون $BER=10^{-3}$ ، كما أظهرت النتائج أن استخدام تقنية اختيار الهوائيات (Antenna selection) مع نظام MIMO-OFDM يحقق ربح مقداره 1.25 dB مرة من حالة عدم استخدامها عندما يكون $BER=10^{-3}$ [6].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية نظام MIMO-OFDM في أنه يشكل النواة الأساسية في أنظمة الاتصالات النقلة 4G، ويحقق هذا النظام معدل بيانات عالي و وثوقية عالية في نقل البيانات. يهدف البحث إلى الحصول على وثوقية أكبر في نقل البيانات لنظام MIMO-OFDM دون زيادة E_b/N_0 ، لذلك تم دراسة BER لهذا النظام، ومن ثم دراسة كل من الترميز الالتفافي والتحويل الموجي المتقطع وتم استخدامهما مع نظام MIMO-OFDM بهدف الحصول على BER بقيم صغيرة.

طرائق البحث وموارده:

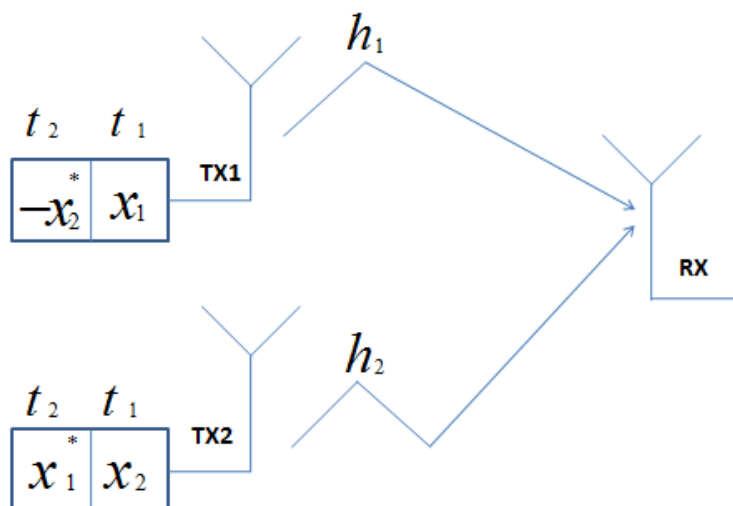
1-3 نظام ترميز البلوك الزمني المكاني Space Time Block Coding STBC :

يستغل هذا النظام تعدد الهوائيات عند المرسل لتحقيق التنوع المكاني Spatial diversity، وقد صمم Alamouti تقنية تنوع الإرسال للأنظمة التي لديها هوائيين للإرسال، والتي تتطلب عمليات خطية بسيطة عند كل من المرسل والمستقبل، وتجري عمليات الترميز وفك الترميز على مجموعتين من الرموز المعدلة لذلك يجب أولاً القيام بعملية التعديل. نفرض أن x_1, x_2 رمزين معدلين يدخلان إلى المرمرز الزمني المكاني. يرسل هذان الرمزتان x_1, x_2 خلال فواصل زمنية متتالية t_1, t_2 في الأنظمة ذات هوائي إرسال وحيد، لكن في STBC خلال الفاصل الزمني الأول t_1 يرسل الرمزتان x_1, x_2 خلال الهوائيين الأول والثاني على الترتيب وخلال الفاصل الزمني الثاني t_2 يرسل $x_1^*, -x_2^*$ خلال الهوائيين الأول والثاني على الترتيب [7].

و فيما يأتي يمكن توضيح حالتين مختلفتين هما:

أولاً: حالة هوائي استقبال وحيد

يبين الشكل (1) نظام إرسال واستقبال يستخدم STBC وهوائيين عند المرسل وهوائي وحيد عند المستقبل مع القنوات الواصلة بين المرسل والمستقبل.



الشكل (1) نظام إرسال واستقبال يستخدم STBC وهوائيين عند المرسل وهوائي وحيد عند المستقبل

تمثل المعادلتين (1) و (2) الإشارتين المستقبلتين عند الهوائي خلال الفاصل الزمني الأول t_1 والثاني t_2 على الترتيب:

$$y_1 = h_1 x_1 + h_2 x_2 + n_1 \quad (1)$$

$$y_2 = -h_1 x_2^* + h_2 x_1^* + n_2 \quad (2)$$

حيث:

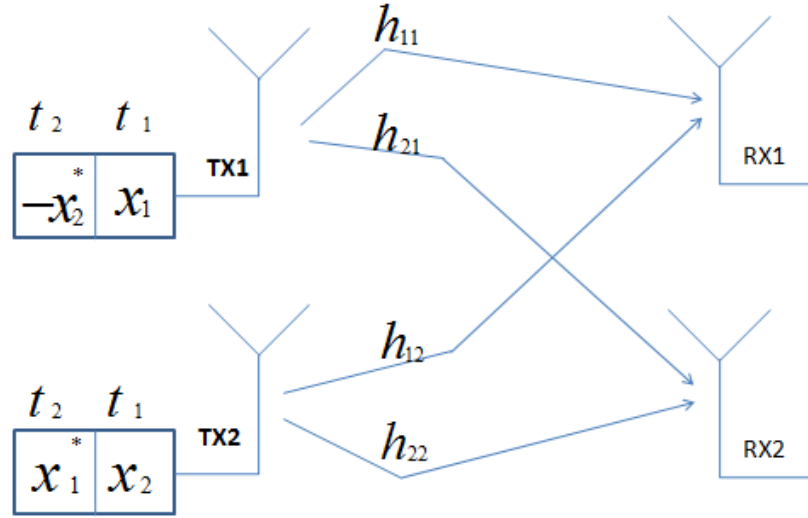
n_1 و n_2 ضجيج القنوات h_1 و h_2 على الترتيب.
 y_1 و y_2 الإشارتين المستقبلتين خلال الفاصل الزمني الأول t_1 و الفاصل الزمني الثاني t_2 على الترتيب.
 x_1 و x_2 الإشارتين المرسلتين الداخلتين إلى المرمز.
 x_1^* و x_2^* المرافق العقدي للرمزين x_1 و x_2 على الترتيب.
 تعطى معادلاتي فك الترميز عند المستقبل (3) و (4):

$$\hat{x}_1 = h_1^* y_1 + h_2 y_2^* \quad (3)$$

$$\hat{x}_2 = h_2^* y_1 - h_1 y_2^* \quad (4)$$

ثانياً: حالة هوائييين اثنين في الاستقبال

يبين الشكل (2) نظام إرسال واستقبال يستخدم STBC وهوائييين عند المرسل وهوائييين عند المستقبل مع القنوات الواصلة بين المرسل والمستقبل.



الشكل (2) نظام إرسال و استقبال يستخدم STBC وهوائيين عند المرسل وهوائيين عند المستقبل

تمثل المعادلتين (5) و(6) الإشارات المستقبلية خلال الفاصل الزمني الأول t_1 على هوائي الاستقبال الأول والثاني على الترتيب، وتمثل المعادلتين (7) و(8) الإشارات المستقبلية خلال الفاصل الزمني الثاني t_2 على هوائي الاستقبال الأول والثاني على الترتيب.

$$y_{11} = h_{11}x_1 + h_{12}x_2 + n_{11} \quad (5)$$

$$y_{21} = h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + n_{21} \quad (6)$$

$$y_{12} = -h_{11}x_2^* + h_{12}x_1^* + n_{12} \quad (7)$$

$$y_{22} = -h_{21}x_2^* + h_{22}x_1^* + n_{22} \quad (8)$$

تعطى معادلاتي فك الترميز عند المستقبل (9) و(10) :

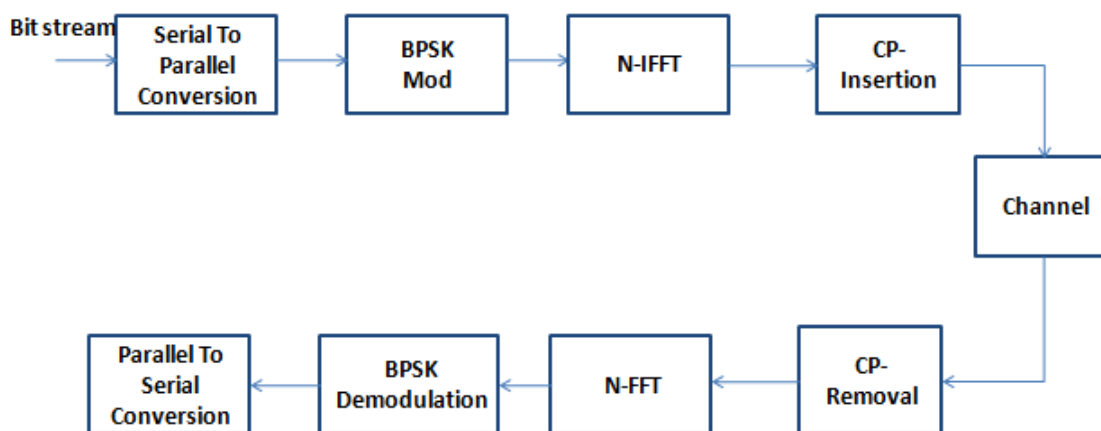
$$\hat{x}_1 = h_{11}^*y_{11} + h_{21}^*y_{21} + h_{12}y_{12}^* + h_{22}y_{22}^* \quad (9)$$

$$\hat{x}_2 = h_{12}^*y_{11} + h_{22}^*y_{21} - h_{11}y_{12}^* - h_{21}y_{22}^* \quad (10)$$

2-3 التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM :

تستخدم الإشارة المرسلية في الأنظمة ذات الحامل الترددي الوحيد كل الطيف الترددي المتوفر، أما في الأنظمة المتعددة الحوامل الترددية فيقسم الطيف الترددي المتوفر إلى عدد من المجالات الضيقة والمتعامدة فيما بينها. ويبين الشكل (3) المخطط الصندوقية لنظام OFDM. إن مبدأ الإرسال متعدد الحوامل يقوم على أساس توزيع (spreading) البيانات ذات معدل النقل العالي لترسل عبر عدد كبير من الحوامل الترددية بمعدل نقل منخفض ويطلق على هذه العملية التحويل من تسلسلي إلى تفرعي، ومن ثم تحول هذه البيانات التفرعية إلى صيغة التعديل الرقمية BPSK، ويعدل كل مجال جزئي بحامل ترددي جزئي باستخدام Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)، ومن ثم تضاف البادئة الدورية (Cyclic Prefix (CP) بأخذ نسخة من الجزء الأخير من رمز OFDM ووضعها في مقدمة الرمز على أن يكون زمن البادئة الدورية أكبر من التأخير الأعظمي الذي تسببه القناة لمنع تداخل الرموز مع بعضها Inter Symbol Interference (ISI) ولمنع تداخل الحوامل الترددية مع بعضها (ICI) Inter Carrier Interference. أما

في طرف الاستقبال فتجري عملية معاكسة لما حدث عند المرسل إذ تحذف البادئة الدورية أولاً، ثم نجري عملية FFT، وفك التعديل وأخيراً عملية التحويل من تفرعي إلى تسلسلي.



الشكل (3) مخطط نظام OFDM

إن أهم ما يميز نظام OFDM هي عدم الحاجة لوجود مجالات الحماية بين الحوامل الجزئية المتجاورة إذ لن يكون هناك تداخل بين هذه الحوامل بسبب اختيارها متعامدة مع بعضها البعض والمقصود بالتعامد أن قمة أحد الحوامل الجزئية تتوافق مع قيمة الصفر للحوامل الجزئية المجاورة [8] [2].

3-3 خفوت رايلي و ريسان :

يحصل خفوت الإشارة بسبب الاستقبال متعدد المسار للإشارة، لا يوجد في الخفوت نوع رايليمركبة مسيطرة ناشئة عن (LOS) Line Of Sight للإشارة المستقبلية إذ لا يوجد خط نظر مباشر بين المرسل والمستقبل، في حين يوجد في الخفوت نوع ريسان مركبة قوية مسيطرة ناتجة عن LOS إذ هناك خط نظر مباشر بين المرسل والمستقبل [9]، ويعرف بارامتر K في هذا النوع من الخفوت بأنه نسبة استطاعة مسار LOS إلى استطاعة المسارات الأخرى [10]. وسنعتبر في دراستنا أن $K=3$ dB.

3-4 الترميز الالتفافي:

يعرف ترميز القناة أنه تقنية تضاف فيها بتات إضافية إلى البتات الأصلية، وتستخدم هذه البتات الإضافية من أجل حماية البيانات المرسلة من تأثيرات قناة الاتصال (تشويش، خفوت، ضجيج...) [11]. يمكن لترميز القناة أن يكون إما لكشف الخطأ أو لتصحيح الخطأ [2]. وسنستخدم في هذا البحث تصحيح خطأ أمامي (FEC) Forward Error Correction الذي يسمح بتصحيح الخطأ اعتماداً على البيانات المستقبلية وسنختار الترميز الالتفافي لتحسين أداء نظام MIMO-OFDM.

يبين الشكل (4) المرمز الالتفافي، ويوجد ثلاثة بارامترات تعرف الترميز الالتفافي :

1- معدل الترميز (Code Rate): النسبة بين عدد بتات الدخل k إلى عدد بتات الخرج n ، وفي دراستنا إن معدل الترميز يساوي $1/2$ وهذا يعني أن كل بت دخل يقابله بتين في الخرج.

2- الطول القسري (Constraint Length): عدد المراحل التي يبقى فيها بت الدخل في المرمز الالتفافي ،

وفي دراستنا الطول القسري 3 .

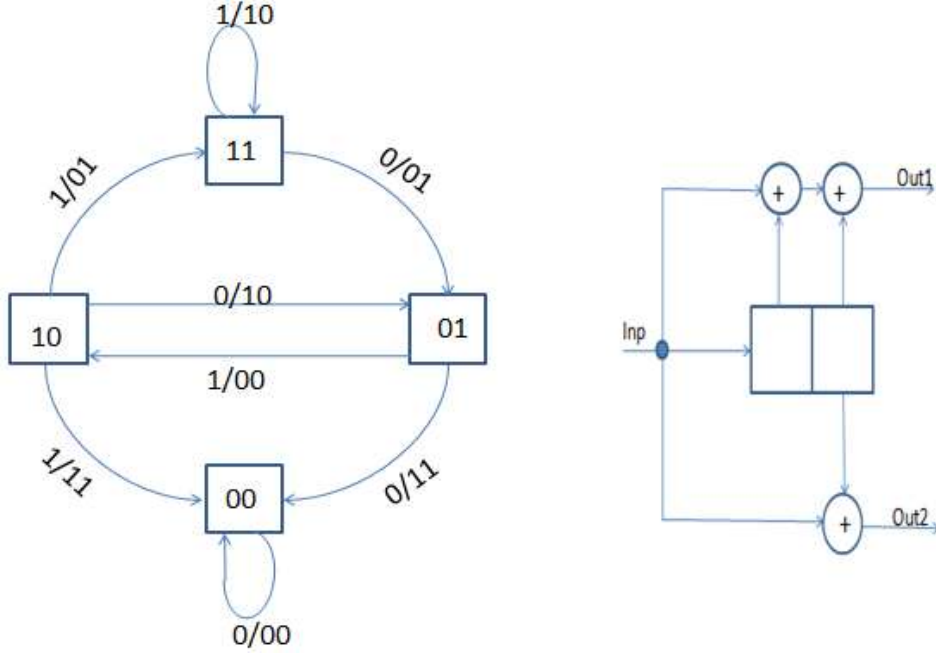
3-مولد كثير الحدود (Generator polynomial): يحدد طريقة ربط تسلسل الدخل بالمسجل لتشكيل الخرج

[12][13].

$$G_1(D) = 1 + D + D^2 \quad (11)$$

$$G_2(D) = 1 + D^2 \quad (12)$$

يبين الشكل (5) مخطط الحالة للرمز الالتفافي، حيث تمثل كل عقدة حالة الرمز أي المحتوى الثنائي لعناصر الذاكرة، ويمثل كل فرع حالة الانتقال إلى حالة أخرى وفقاً لخانة الدخل الحالية، ويظهر على الفرع خانتتي الخرج الموافقتين لخانة الدخل الحالية انطلاقاً من حالة محددة [13].

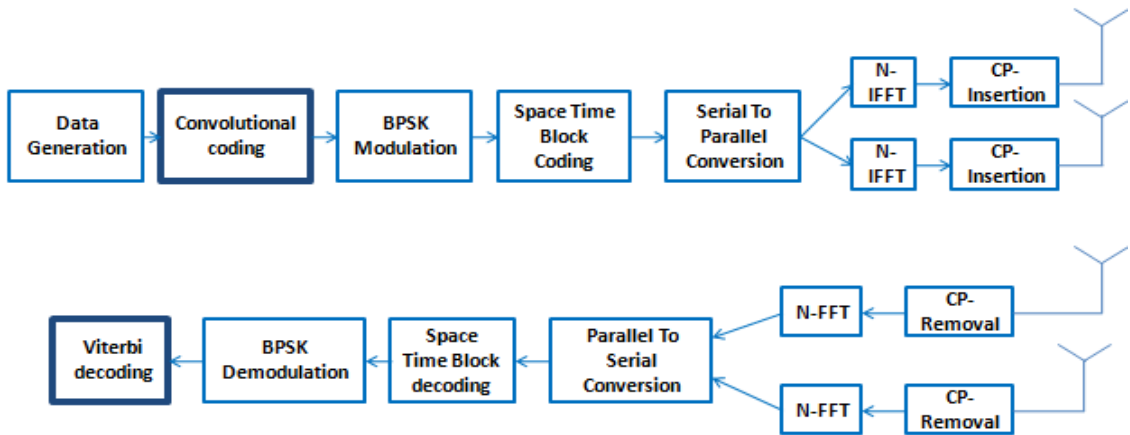


الشكل (4):الرمز الالتفافي الشكل (5): مخطط الحالة للرمز الالتفافي

أما عملية فك الترميز فتكون باستخدام خوارزمية [12][13] Viterbi.

يبين الشكل (6) المخطط الصندوقي لنظام MIMO-OFDM مع الترميز الالتفافي الذي يطبق قبل إجراء

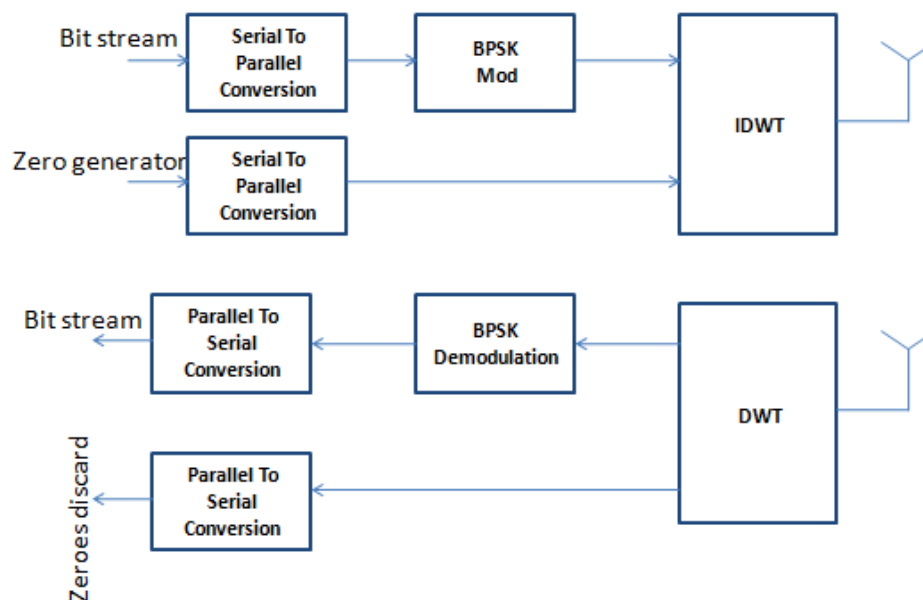
التعديل.



الشكل (6): مخطط نظام MIMO-OFDM مع الترميز الالتفافي

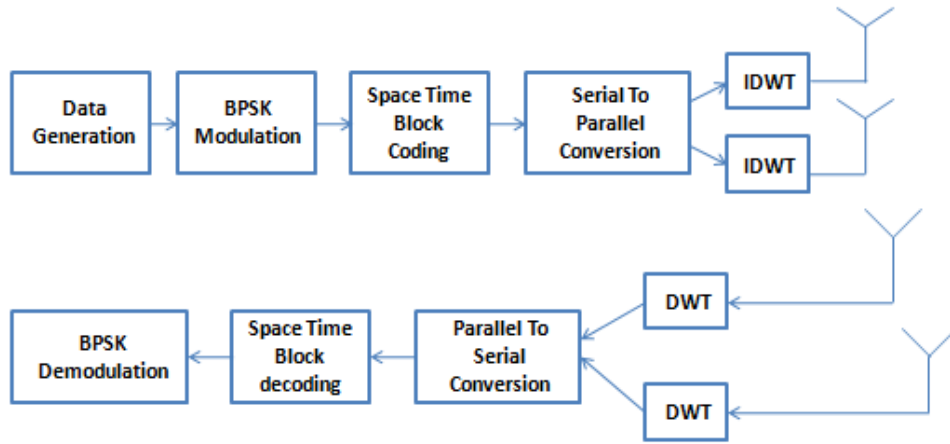
5-3 نظام MIMO-OFDM(DWT)

يعدّ التنبؤ بطول الاستجابة النبضية للقناة أمر صعب خاصة في التطبيقات اللاسلكية، كما أن طول البادئة الدورية يزداد بزيادة طول هذه الاستجابة وهذا ينقص الاحتواء الطيفي للقناة بشكل كبير [14]. كما أن OFDM(DWT) يملك قدرة أقوى على كبت ISI و ICI ولذلك لا يوجد حاجة لإضافة البادئة الدورية في نظام OFDM (DWT) [4]. يظهر في الشكل (7) نظام OFDM (DWT). تجري أولاً عملية تحويل البيانات التسلسلية إلى تفرعية ثم عملية التعديل BPSK. نحصل على الموجة في المجال الزمني باستخدام التحويل المويجي المتقطع العكسي (IDWT)، ويتطلب تحقيق IDWT قسمين من بيانات الدخل يدعى الأول المعاملات التقريبية والثاني المعاملات التفصيلية (إن طول المعاملات التقريبية مساو لطول المعاملات التفصيلية)، وتمثل البيانات المعدلة باستخدام BPSK القسم التقريبي وتمثل الأصفار القسم التفصيلي، ثم يحدث الطي بين إشارة خرج IDWT وقناة الاتصال. وعند المستقبل نحصل على المجال الترددي المطابق لبيانات الدخل التفرعية باستخدام DWT، ويمثل النصف الأول من بيانات خرج مرحلة DWT الإشارة المستقبلية المرغوبة والتي يفك تعديلها ويمثل النصف الثاني المعاملات التفصيلية الغير مرغوبة والتي يتم الغاؤها [15].



الشكل (7): مخطط نظام SISO-OFDM (DWT)

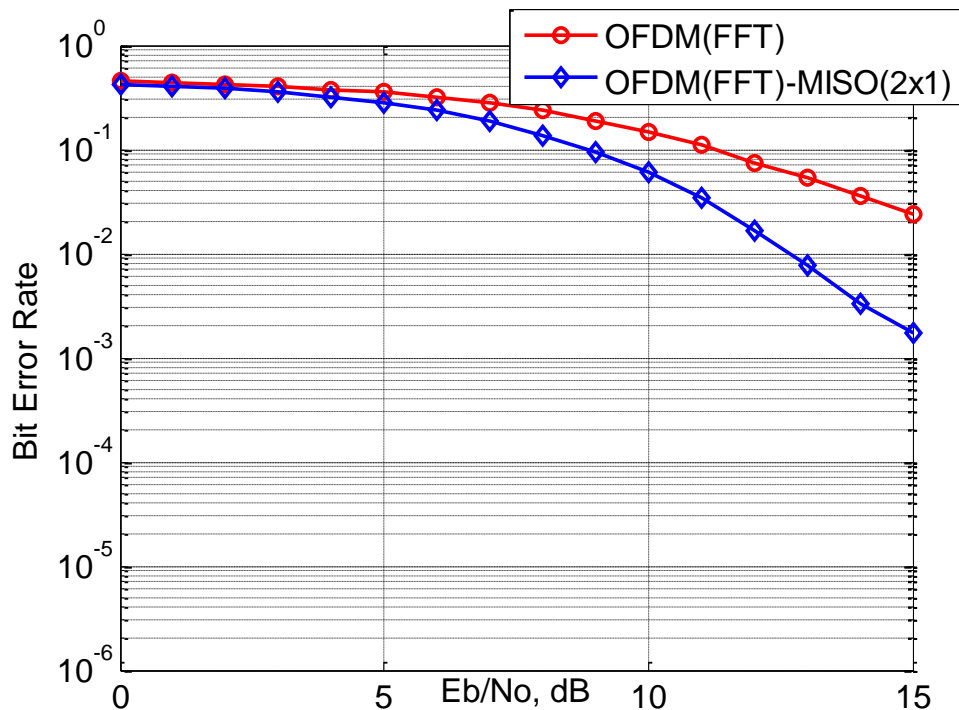
يبين الشكل (8) نظام MIMO-OFDM (DWT).



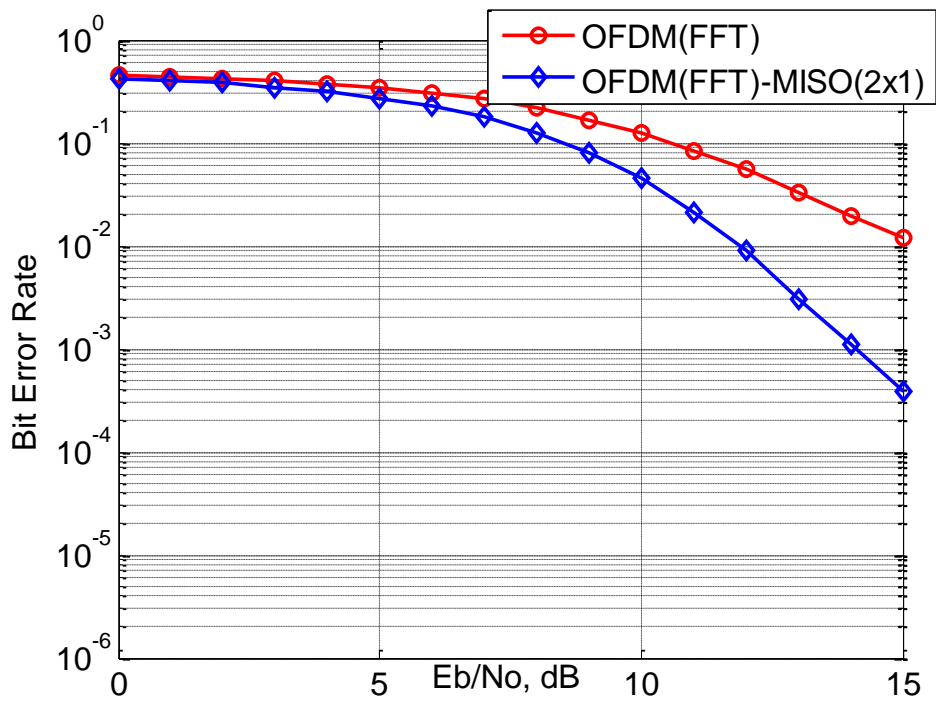
الشكل (8): MIMO-OFDM(DWT)

النتائج و المناقشة:

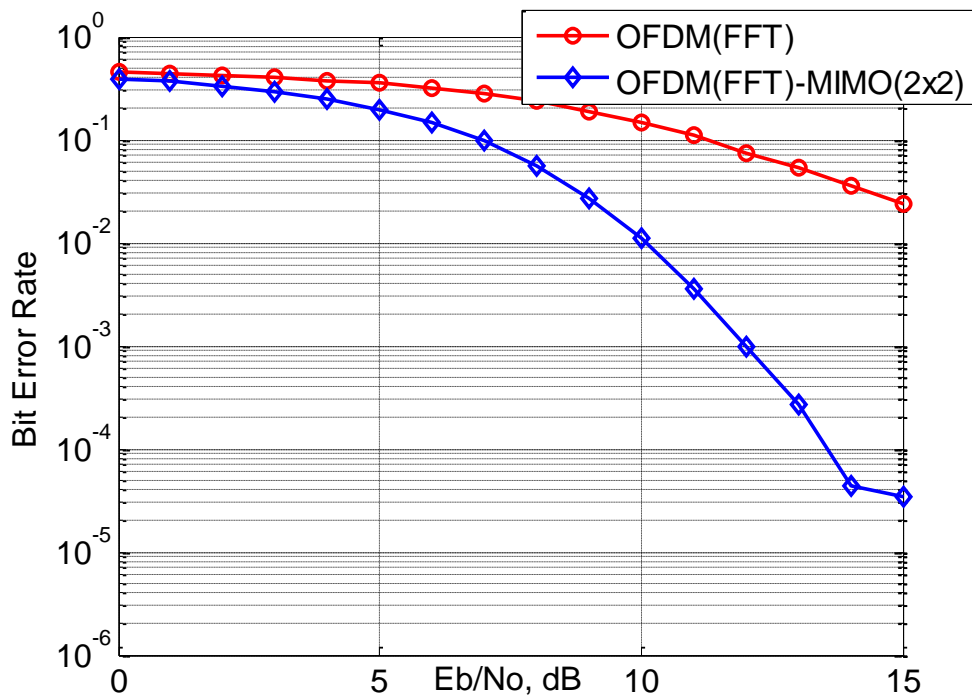
أولاً: تم دراسة BER تبعاً للبارمتر E_b/N_0 لنظام OFDM بحالة هوائي وحيد في طرف الإرسال وهوائي وحيد في طرف الاستقبال، ثم تأثير إضافة هوائي ثاني في طرف الإرسال MISO(2x1)-OFDM على BER، ثم تأثير إضافة هوائي ثاني للنظام السابق في طرف الاستقبال MIMO(2x2)-OFDM على BER وذلك بحالة قناتي الخفوت رايلي و ريسيان، ويلاحظ أنه بزيادة عدد الهوائيات يقل BER، وكلما زاد E_b/N_0 يقل BER كما يظهر في الأشكال (9) و (10) و (11) و (12).



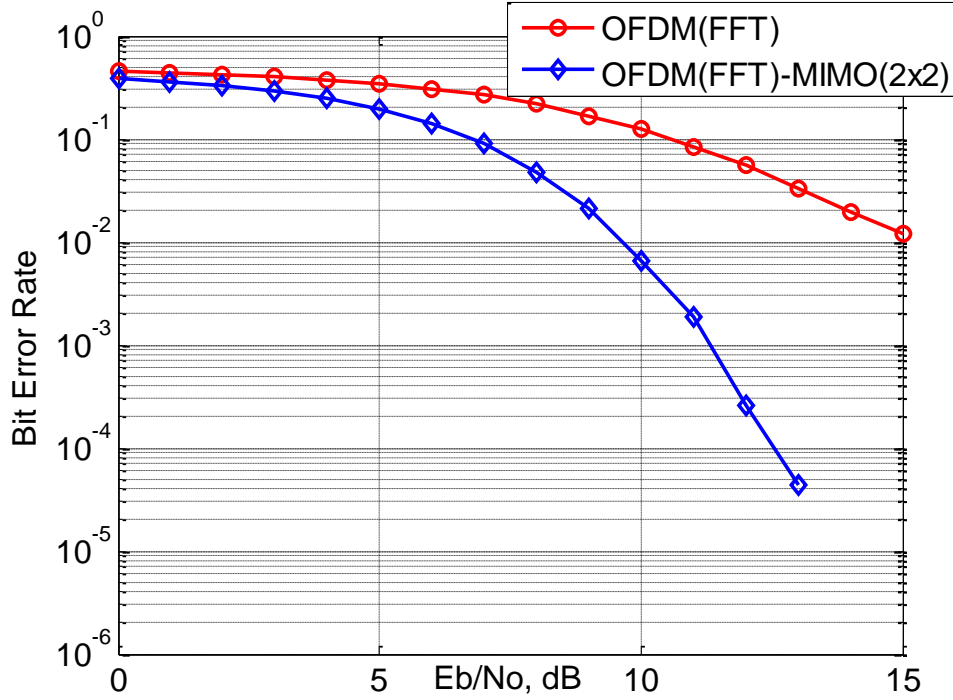
الشكل (9): المقارنة بقناة خفوت رايلي



الشكل (10): المقارنة بقناة خفوت ريسان



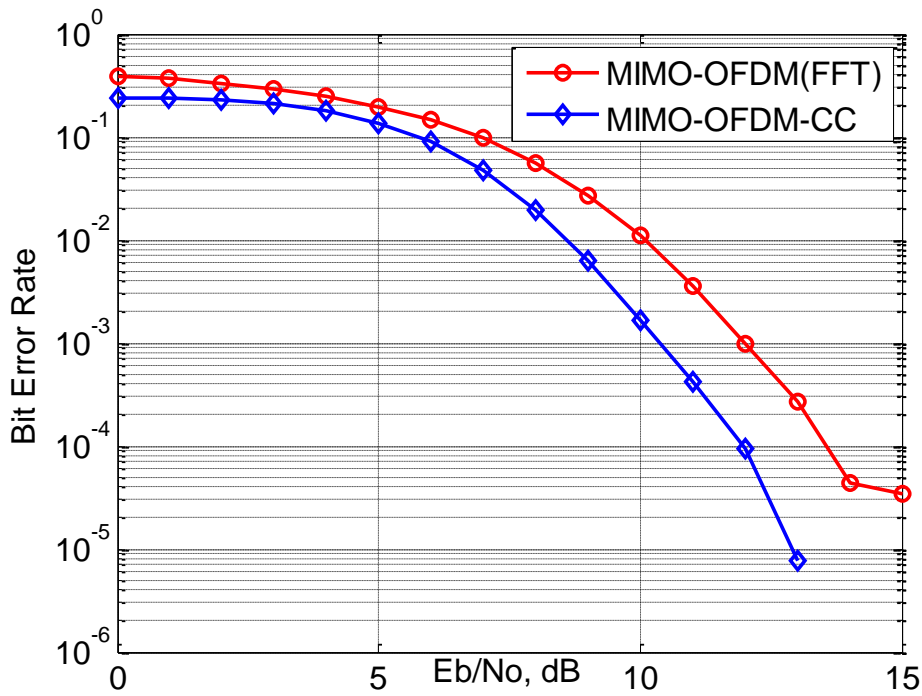
الشكل (11): المقارنة بقناة خفوت رايلي



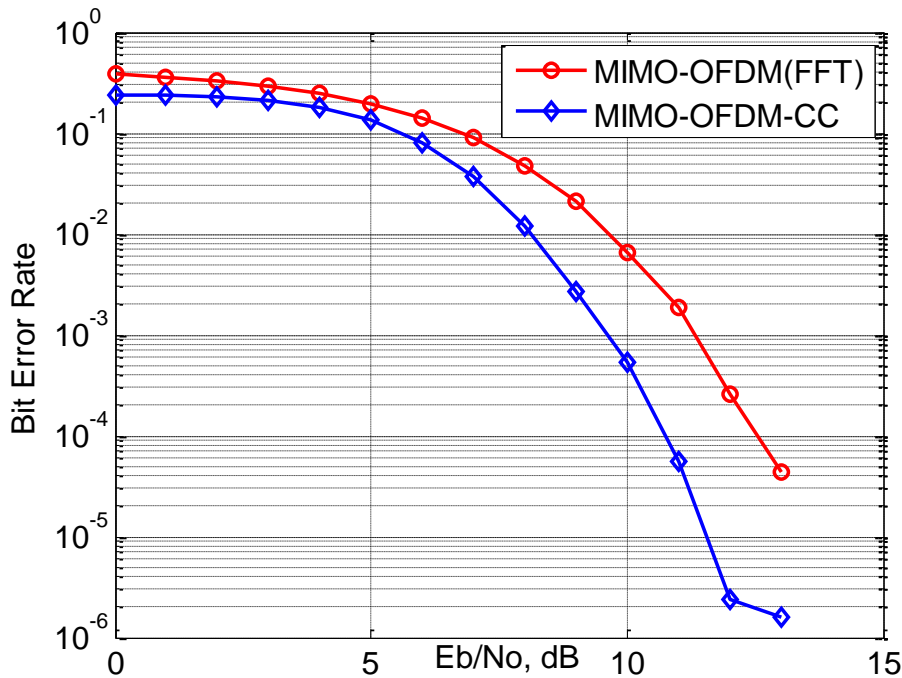
الشكل(12): المقارنة بقناة خفوت ريسان

ويلاحظ من الشكل (11) في حالة نظام MIMO-OFDM أنه عندما يكون $E_b/N_0=15\text{dB}$ يكون تناقص BER أقل من باقي قيم E_b/N_0 فعند هذه النقطة يكون عدد الخانات (bit) المستقبلية الخاطئة 22 من أصل 640000 خانة مرسله، بينما عند $E_b/N_0=14\text{dB}$ يكون عدد البتات الخاطئة المستقبلية 28 بت من أصل 640000 بت، أي أن الفرق هو فقط 6 خانات.

ثانياً: إن إضافة الترميز الالتفافي CC إلى نظام MIMO-OFDM يخفض BER، وتبين الأشكال (13) و(14) المقارنة بين MIMO(2x2)-OFDM و MIMO(2x2)-OFDM-CC وبقائتي الخفوت رايلي و ريسان. ويلاحظ من الشكل (14) في حالة نظام MIMO-OFDM (FFT)-CC أنه عندما يكون $E_b/N_0=13\text{dB}$ يكون تناقص BER أقل من باقي قيم E_b/N_0 فعند هذه النقطة يكون عدد الخانات المستقبلية الخاطئة 2 من أصل 1280000 خانة مرسله، بينما عند $E_b/N_0=12\text{dB}$ يكون عدد الخانات الخاطئة المستقبلية 3 من أصل 1280000 خانة، أي إن الفرق هو فقط خانة واحدة.

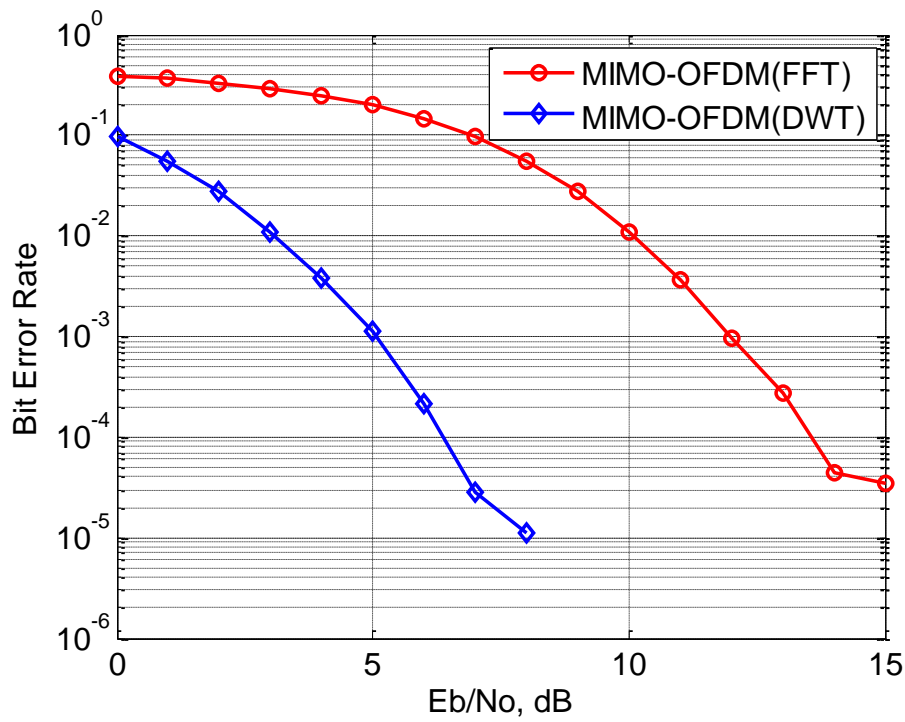


الشكل (13): المقارنة بقناة خفوت رايلي

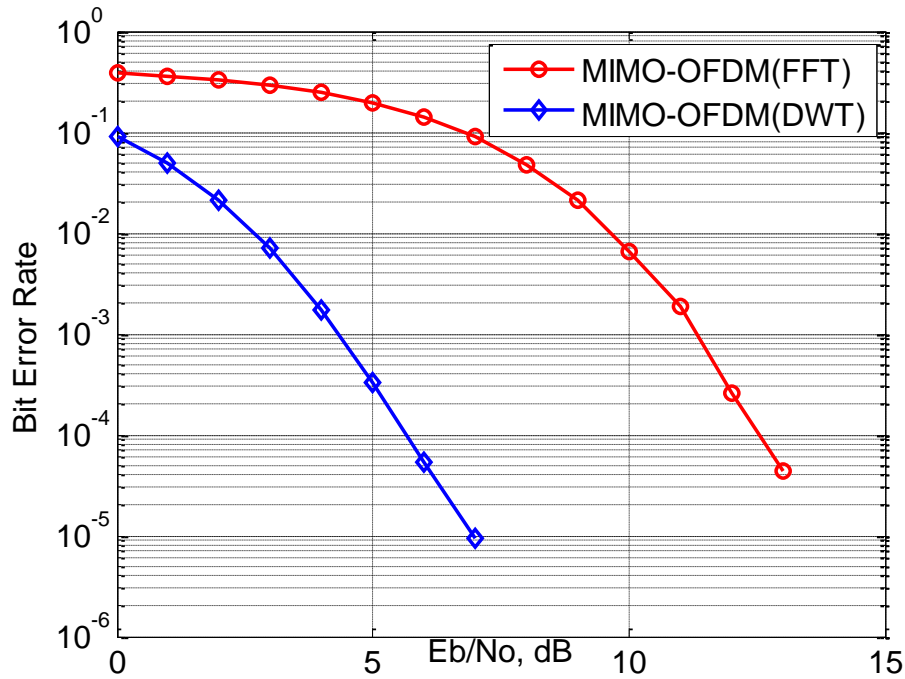


الشكل(14): المقارنة بقناة خفوت ريسان

ثالثاً: إن استخدام DWT بدل FFT في نظام MIMO-OFDM ينقص BER بشكل أكبر من الحالة السابقة التي يضاف فيها الترميز الالتفافي إلى MIMO-OFDM، وتبين الأشكال (15) و(16) المقارنة بين MIMO(2x2)-OFDM(FFT) و MIMO(2x2)-OFDM(DWT) بقانتي الخفوت رايلي و ريسان.



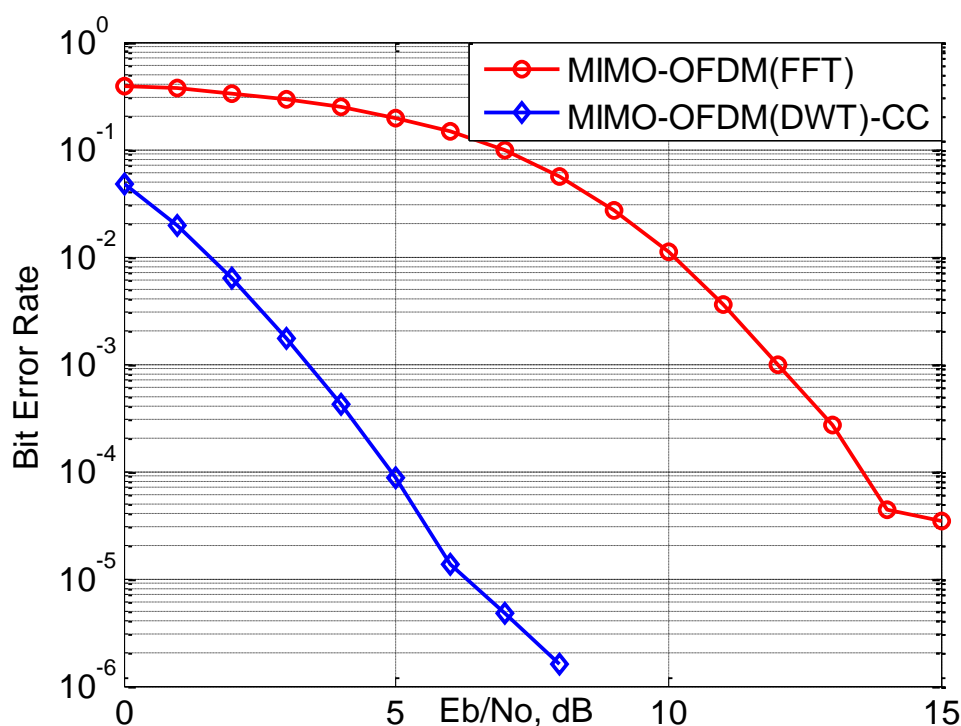
الشكل (15): المقارنة بقناة خفوت رايلي



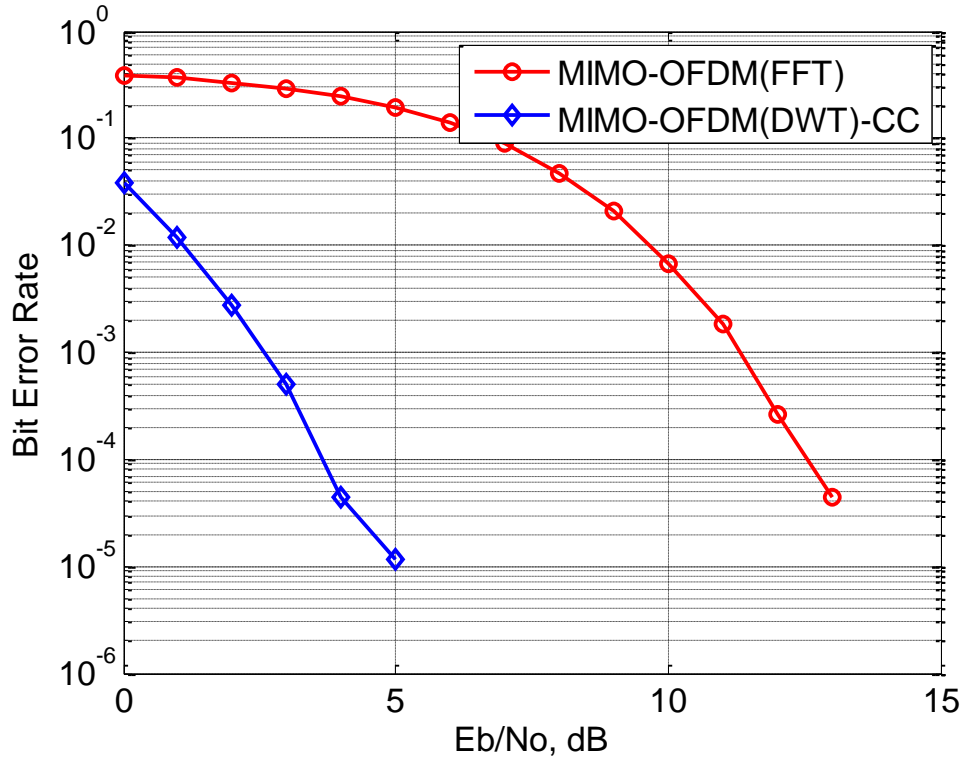
الشكل(16): المقارنة بقناة خفوت ريسان

رابعاً: إن استخدام DWT بدل FFT و إضافة الترميز الالتفافي إلى نظام MIMO-OFDM يجعل BER يتناقص بشكل كبير عند قيم صغيرة E_b/N_0 ، وبالتالي نحصل على أفضل أداء لنظام MIMO-OFDM، وتبين الأشكال (17) و(18) المقارنة بين MIMO(2x2)-OFDM(FFT) و MIMO(2x2)-OFDM(DWT)-CC بقانتي

الخفوت رايلي و ريسان. وتظهر النتائج أن استخدام كل من الترميز الالتفافي والتحويل الموجي المتقطع في نظام MIMO-OFDM يقلل بمقدار 3.4 dB مرة بحالة قناة خفوت رايلي و بمقدار 4.6 dB مرة بحالة قناة خفوت ريسان عندما يكون $BER=10^{-3}$ ، وبالمقارنة مع الدراسات المرجعية [5] [6] يمكن أن نلاحظ مايلي: إن استخدام كل من الترميز الالتفافي والتحويل الموجي المتقطع معاً مع نظام MIMO-OFDM يحقق أداء أفضل للنظام من استخدام تقنية اختيار الهوائيات التي حققت توفيراً في استطاعة الإرسال مقداره فقط 1.25 dB مرة عندما يكون $BER=10^{-3}$ ، ومن استخدام تقنية استطاعات إرسال غير متساوية عند هوائيات الإرسال التي حققت توفير في استطاعة الإرسال مقداره فقط 1.33 dB مرة عندما يكون $BER=10^{-3}$ ، ومن استخدام ترميز توربو الذي حقق توفير في الاستطاعة مقداره 4 dB مرة عندما يكون $BER=10^{-3}$ بقناة اتصال AWGN التي تعتبر أفضل من قنوات الخفوت رايلي و ريسان لأنها تؤثر على الإشارة المرسله بالضجيج فقط دون الخفوت.



الشكل (17): المقارنة بقناة خفوت رايلي



الشكل(18): المقارنة بقناة خفوت ريسان

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد دراسة نظام MIMO-OFDM وكل من الترميز الالتفافي وDWT نتوصل إلى الاستنتاجات الرئيسية التالية:
1- تزداد وثوقية نظام OFDM بزيادة عدد هوائيات الإرسال MISO وتزداد هذه الوثوقية بشكل أكبر بزيادة عدد هوائيات الإرسال والاستقبال MIMO.

2- إن استخدام الترميز الالتفافي مع نظام MIMO-OFDM يقلل BER لهذا النظام.

3- إن استخدام DWT بدلاً من FFT مع نظام MIMO-OFDM يقلل BER بشكل أكبر من حالة استخدام الترميز الالتفافي.

4- إن استخدام كل من الترميز الالتفافي وDWT معاً مع نظام MIMO-OFDM يجعل BER=0 عندما $E_b/N_0=9\text{dB}$ بحالة قناة خفوت رايلي وعندما $E_b/N_0=6\text{dB}$ بحالة قناة خفوت ريسان، وبالتالي نحصل على أفضل أداء للنظام.

يمكن زيادة وثوقية نظام MIMO-OFDM بشكل أكبر باستخدام أكثر من هوائيين اثنين عند المرسل أو المستقبل، أو باستخدام معدل ترميز أقل من 1/2، أو باستخدام كل من ترميز توربو مع DWT، أو باستخدام تقنية اختيار الهوائيات مع ترميز توربو وDWT.

المراجع:

- [1]Ghrayeb, A.& Duman, M. (2007): Coding for MIMO Communication Systems. England: John Wiley & Sons Ltd.
- [2]Swamy, M.& Du, K. (2010). Wireless Communication Systems From RF Subsystems to 4G Enabling Technologies. United States of America: Cambridge University Press.
- [3] Xuehua,J.& Peijiang,C. (2009), Research and Simulation of MIMO-OFDM Wireless Communication System. IEEE.
- [4] Umaria, K. & Joshi,K. (2012). Comparative Analysis Of BER Performance Of DWT Based OFDM System With Conventional FFT Based OFDM System. IEEE.
- [5] Dahiya, P. & Sharma,K. (2013). Turbo coded MIMO-OFDM systems. IJEIT, volume 3, Issue 3. 312-316.
- [6] Manik, G. Kalra, A. & Kalra.S. (2012). Performance Analysis of STBC-OFDM System Under Multipath Fading Channel. IJSCE, volume 1, Issue 6. 87 90.
- [7]Tsoulos,G. (2006). MIMO SYSTEM TECHNOLOGY FOR WIRELESS COMMUNICATIONS. United States of America: Taylor & Francis Group.
- [8] Kaiser, S.& Fazel, K. (2008). Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX. (2rd ed.). United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- [9] Vij, V. (2010). Wireless Communication. NEW DELHI: university science press.
- [10] Ergen, M. (2009). Mobile Broadband Including WiMAX and LTE. United States of America: Springer Science+Business Media, LLC.
- [11] Yang, S. (2010). OFDMA System Analysis and Design. United States of America: Artech House.
- [12] Glavieux,A.(2007). Channel Coding in Communication Networks From Theory to Turbocodes. Great Britain and the United States: ISTE Ltd and ISTE USA
- [13] Neubauer,A. Freudenberger,J.& Kuhn,V.(2007). Coding Theory Algorithms, Architectures, and Applications. England: John Wiley & Sons, Ltd
- [14] Sharma,S.&Kumar,S. (2011). BER Performance Evaluation of FFT-OFDM and DWT-OFDM. IJNMT, Volume 2, No. 2.110-116.
- [15] Ameen,S. & Hadi,W. (2006). Investigation of Using Turbo Code to Improve the Performance of DWT-OFDM System over Selective Fading Channel. IEEE. 2365-2369.