

تحسين أداء أنظمة MIMO-OFDM باستخدام خوارزمية Recursive Least Squares

* د. محمد نصر

** محمد عبد الكريم عبد الله

(تاريخ الإيداع 2022/10/4 . قُبِلَ للنشر في 2022/12/12)

□ ملخص □

يتزايد استخدام البيانات الاسلكية بمعدل هائل مما جعل هناك حاجة إلى الابتكارات المتواصلة في تكنولوجيا الاتصالات الاسلكية لتوفير قدر أكبر من الإمكانيات المتاحة وجودة أعلى في الخدمة. يعد نظام MIMO-OFDM اللبنة الاساسية في أنظمة الاتصالات الحديثة مثل شبكات الاتصالات الخليوية الجيل الرابع 4G والجيل الخامس 5G وشبكات Wimax ، تم في هذا البحث تحسين نظام التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) مطبق على عدد من هوائيات متعددة الدخل والخرج MIMO (Multiple Input Multiple Output) بواسطة خوارزمية المربعات الصغرى التكرارية (Recursive Least Squares)، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية الخوارزمية المقترحة من خلال تخفيض معدل خطأ البت BER من أجل قيم مختلفة لنسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) وأعداد مختلفة من الهوائيات. تم استخدام برنامج الماتلاب لإجراء عملية المحاكاة.

الكلمات المفتاحية: OFDM (التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد)، هوائيات MIMO (متعددة المداخل ومتعددة المخارج)، BER (معدل خطأ البت)، خوارزمية RLS (المربعات الصغرى التكرارية)، نظام MIMO-OFDM ، SNR (نسبة الإشارة إلى الضجيج).

* مدرس في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس .
** مهندس حاصل على درجة الماجستير في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس .

Improving the performance of MIMO-OFDM systems using the RLS algorithm

Dr. Mohammad Nasser*
Mohammad abdalkareem abdallah**

(Received 4/10/ 2022 . Accepted 12/12/ 2022)

□ ABSTRACT

Wireless data usage is increases at a phenomenal rate and driving the need for continued innovations in wireless telecommunication technologies to provide more capacity and higher quality of service. MIMO-OFDM system is considered the core of the modern Telecommunication systems like 4G and 5G mobile networks and Wimax networks, In this research, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system with multiple sets of Multiple-Input Multiple- Output (MIMO) have been improved using Recursive Least Square (RLS) algorithm. Based on the results obtained, the effectiveness of the proposed algorithm has been proved by reducing the BER (Bit Error Rate) for different values of SNR (signal to noise ratio) and different numbers of antennas, thereby improving the reliability and quality of service of the system. All simulation procedures have been performed using MATLAB.

Key Words: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) , Multiple-Input Multiple- Output (MIMO), BER (Bit Error Rate) , Recursive Least Square (RLS) algorithm, MIMO-OFDM system, SNR (Signal to Noise Ratio).

* Teacher, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering, Tartous University, Syria.

** Engineer with a master's degree in Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering, Tartous University, Syria.

1. المقدمة

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 امتلك أداء أفضل لاستخدامه تقنيات TDMA أو FDMA إلا أنه كان محدوداً بعرض الحزمة، وظهر بعدها 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 [1].

يعد نظام التقسيم الترددي المتعامد OFDM من أكثر الأنظمة شيوعاً في أنظمة الاتصالات اللاسلكية ؛ حيث

اعتمد

في العديد من المعايير اللاسلكية، وفي الجيل الرابع من أنظمة الاتصالات الخلوية وذلك لكفائته الطيفية ومعدلات نقل البيانات العالية التي يؤمنها [1].

تم استخدام نظام OFDM مع عدة هوائيات في كل من المرسل والمستقبل من أجل تحسين أداء النظام في قنوات الخفوت المتعددة وزيادة معدل نقل البيانات ويطلق على هذه الهوائيات MIMO-OFDM، وقد حسنت هذه الأنظمة من أداء أنظمة الاتصالات اللاسلكية بالنسبة للعديد من العوامل مثل تحسين السعة والحصول على معدل معطيات أعلى ومعدل خطأ بت (BER) أقل [2]، كما أعطت أنظمة MIMO إنتاجية جيدة وكفاءة طيفية عالية مع نفس الاستطاعة المرسل وعرض حزمة المتطلبية في حالة الأنظمة التي لا تعتمد التعدد SISO (Single input- Single output) [3].

تطبق أنظمة MIMO وفق عدة نماذج فمن الممكن أن نرسل نفس الإشارة على كل الهوائيات، مما يعني أننا سنحسن من أداء النظام تجاه قنوات الخفوت، ولكن لن يكون هناك زيادة في سعة البيانات، ويسمى هذا النموذج بتقنية التنوع الفراغي (Spatial Diversity) حيث يتم توليد N نسخة بديلة عن الإشارات وهذه الإشارات ستكون مرتبطة بهوائيات الإرسال، ويتم تخفيض تأثير خفوت الإشارة بشكل كبير في هذه الحالة، أو يمكن أن يتم تقسيم قطار البتات للدخل إلى عدد من القطارات الفرعية وعددها N ، حيث N يحدد العدد الكلي لهوائيات الإرسال، ويتم تجميع الإشارة القادمة في طرف الاستقبال باستخدام تقنيات التجميع المختلفة، وتدعى هذه التقنية بتقنية التجميع الفراغي (Spatial Multiplexing) وتزيد هذه التقنية من معدل المعطيات للإرسال وذلك بالإرسال الفراغي الذي يتم تحقيقه [3].

2. الدراسات المرجعية

باعتبار أن الهوائيات من أهم التجهيزات في الشبكات اللاسلكية لذلك لاقت اهتماماً ملحوظاً من قبل الباحثين نظراً للتحسينات التي تقدمها في زيادة سرعة نقل البيانات وفي وثوقية هذه البيانات. يوجد الكثير من الدراسات السابقة التي تناولت أنواع الهوائيات وطرق تحسينها، كما يوجد دراسات تناولت النظام ككل (MIMO-OFDM) وعملت على تحسين أدائه، وتم التطرق فيما يلي إلى بعض تلك الدراسات :

❖ تمت دراسة الهوائيات المصفوفة الخطية وتم أيضاً دراسة العلاقة بين بارامترات هذا النوع من الهوائيات وهي عدد العناصر (M) وطول الموجة (λ) والمسافة بين العناصر (d) مع عرض حزمة الإشعاع (Beam width) عند مستوى نصف الاستطاعة (Half-Power) بهدف الحصول على حزمة إشعاع ضيقة من أجل زيادة التوجيهية والدقة

في ملاحقة الأهداف. بناء على النتائج التي تم الحصول عليها في هذا العمل تم تحديد أفضل قيم للبارامترات الهوائي المصفوفة الخطي للحصول على حزمة إشعاع ضيقة عند مستوى نصف الاستطاعة [4].

❖ تم إجراء مقارنة بين نظام OFDM (FFT) ونظام OFDM (DWT) وباستخدام طرق تعديل متعددة وبقناة 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 [5].

❖ 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 مقدار 4dB مرة من نظام MIMO-OFDM غير المرمز عندما يكون $BER=10^{-3}$ ولم تتطرق هذه الدراسة إلى قنوات الخفوت رايلي وريسيان [6].

❖ تم دراسة أداء نظام MIMO-OFDM باستخدام طرق تعديل مختلفة وقناة 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 بمقدار 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 مقدار 1.25 dB مرة من حالة عدم استخدامها عندما يكون $BER=10^{-3}$ [7].

❖ تم في هذه الدراسة استخدام خوارزمية Genetic Algorithm للحصول على أفضل مقارنة في مصفوفات الهوائيات

عند طرف الإرسال والاستقبال، وتتضمن هذه المقاربة انتقاء أقل عدد من الهوائيات المرسل من مصفوفة الهوائيات المرسل الكلية في طرف الاستقبال. لم يتطرق الباحثون إلى كيفية استخدام الخوارزمية في نظام MIMO-OFDM [8].

❖ اعتمد الباحثون في هذه الدراسة على توضيح مبدأ عمل أنظمة SISO, SIMO, MISO, MIMO ومقارنتها بين بعضها البعض من حيث سعة القناة وأداء النظام، ولقد تم استخدام بيئة ضجيج غوصي المضاف AWGN وتوضيح أهمية تخصيص الموارد resource allocation في الأنظمة؛ وذلك لتحسين أداء النظام بشكل عام، و يستخدم لتحقيق ذلك خوارزمية convex optimization techniques [9].

❖ اقترح الباحثون في هذه الدراسة استخدام تقنية Water Filling algorithm حيث يكون فيها حساب ربح الاستطاعة

وجمعها مع الاستطاعة الكلية، وبعد حساب الاستطاعة لكل قناة فرعية ضمن النظام MIMO-OFDM، يتم توزيع الاستطاعة بشكل يضمن زيادة في نسبة الإشارة إلى الضجيج في القنوات الفرعية وبالتالي تحسين معدل الإرسال [10].

3. أهمية البحث وأهدافه

تتمثل أهمية نظام MIMO-OFDM في أنه يشكل النواة الأساسية في أنظمة الاتصالات النقالة ويحقق هذا النظام معدل بيانات ووثوقية عاليين في نقل البيانات. هدف البحث هو الحصول على وثوقية أكبر في نقل البيانات لنظام MIMO-OFDM من خلال تطبيق خوارزمية RLS ودراسة تأثير زيادة عدد الهوائيات بهدف الحصول على معدل خطأ البت BER منخفض وبالتالي تحسين أداء النظام.

4. طرائق البحث ومواده

4-1- نموذج القناة:

تم في البحث استخدام نموذج قناة الضجيج غوص المضاف الأبيض Additive white Gaussian Noise (AWGN) وذلك من أجل دراسة السعة في نظام MIMO-OFDM. يعتبر ضجيج غوص المضاف الأبيض النموذج الرئيسي المستخدم في نظرية الإشارة لمحاكاة تأثير العوامل العشوائية للطبيعة على قناة الاتصال ولها عدة خصائص منها [11]:

- ❖ مضافة: لأنها تضيف ضجيجاً إلى أي جزء من نظام الاتصال.
 - ❖ أبيض: تشير إلى أن الاستطاعة لهذا الضجيج على كامل المجال الترددي وهي محاكاة للضوء الأبيض الذي يعتبر مكوناً من كل انبعاثات الضوء المرئي.
 - ❖ غوصي: لأنها تتوزع في المجال الزمني بمتوسط مساوي إلى الصفر.
- يتكون الضجيج عريض الحزمة من مصادر طبيعية مثل التذبذب الحراري للذرات ضمن النواقل الداخلية أو من مصادر خارجية كالشمس. يستخدم ضجيج غوص المضاف الأبيض كنموذج للقناة كإضافة خطية للضجيج عريض الحزمة وبكثافة طيفية ثابتة ويعبر عنه W/HZ ، يتميز هذا النموذج بسهولة وبساطته وهو مفيد في إعطاء نظرة على النظام المدروس [12].

بارمترات قناة غوص المضاف الأبيض:

الاستطاعة P واحدها الواط W

الكثافة الطيفية للضجيج الأبيض وتعطى ب $N_0/2$

نمّثل نموذج قناة غوص المضاف الأبيض كالتالي وفقاً للعلاقة (1) [11]:

$$\sum_{n=1}^N [x[n]]^2 \leq Np \quad (1)$$

وبالتالي يكون قانون السعة لنموذج القناة غوص المضاف الأبيض هو:

$$C_{AWGN}(P, W) = w \log \left(1 + \frac{PH}{N_0W} \right) \frac{bit}{s} \quad (2)$$

$$= 1 + \log(SNR)$$

$$SNR = \frac{P}{N_0W}$$

حيث أن:

H: هي الاستجابة الترددية للقناة AWGN

W: عرض الحزمة

P: الاستطاعة واحدها الواط W

N_0 : الكثافة الطيفية للضجيج الأبيض W/Hz

هذه المعادلة للسعة تعطينا مجالاً واسعاً لدراسة أداء النظام وذلك تبعاً للبارامترات الرئيسية المتاحة وهي غالباً الاستطاعة P وعرض الحزمة W.

4-2- التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM:

إن أساس هذا النظام هو التجميع بالتقسيم الترددي FDM والذي يقوم بتقسيم عرض الحزمة الكلي إلى مجموعة ترددات

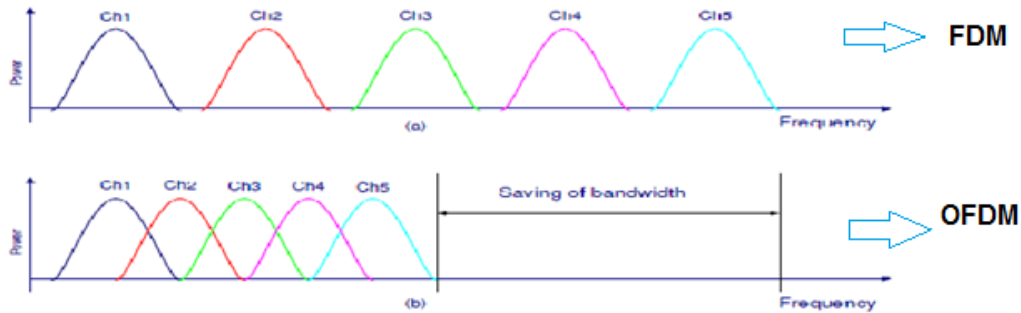
جزئية ويعطي كل إشارة أو مستخدم أحد هذه الترددات، ومن مساوئه: أنه يحد من عدد المستخدمين ويتطلب عرض

حزمة كبيرة، تكون هذه الترددات ذات معدل نقل بيانات منخفض، ويوجد بينها مجال حماية لمنع التداخل، وبالتالي فإن

الفعالية الطيفية تكون منخفضة في التجميع بالتقسيم الترددي FDM وكما يظهر الشكل (1) الفرق في إرسال مجموعة

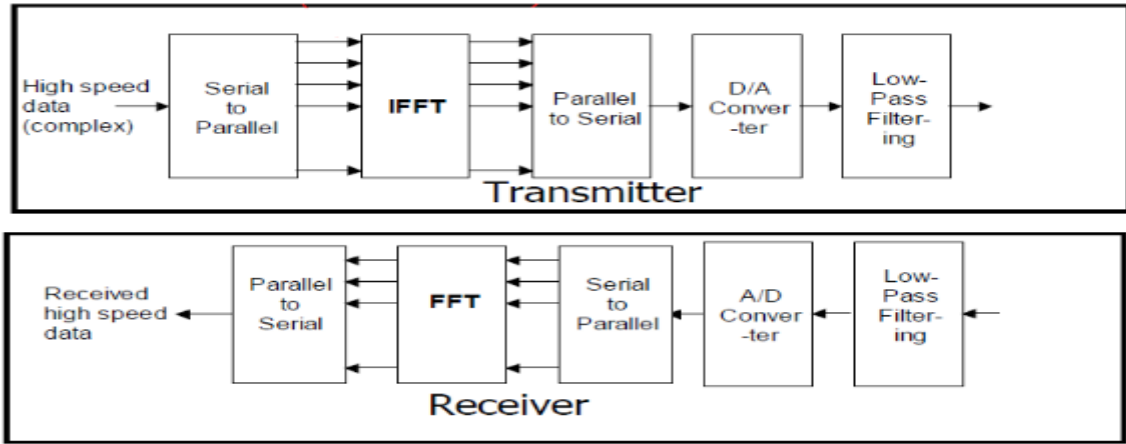
إشارات بالتعديل الترددي FDM وعرض الحزمة المستهلك مقارنة مع إرسال نفس الإشارات بتعديل OFDM والفرق

الكبير بتوفير عرض الحزمة [13].



الشكل (1) مقارنة بين نظام FDM و OFDM [13].

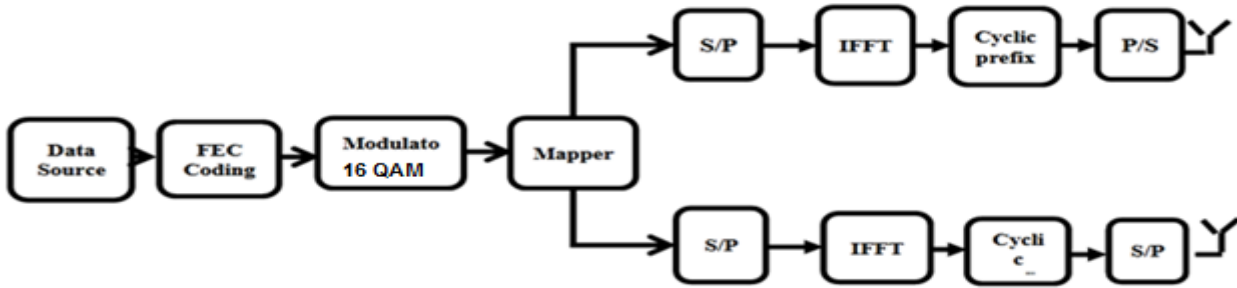
تستخدم الإشارة المرسل في الأنظمة ذات الحامل الترددي الوحيد كل الطيف الترددي المتوفر، أما في الأنظمة المتعددة الحوامل الترددية يقسم الطيف الترددي المتوفر إلى عدد من المجالات الضيقة. إن مبدأ الإرسال متعدد الحوامل يقوم على أساس تحويل تدفق البيانات التسلسلي ذات المعدل العالي إلى سلاسل جزئية تفرعية N ذات معدل منخفض و يطلق على هذه العملية التحويل من تسلسلي إلى تفرعي، ومن ثم تحول هذه السلاسل التفرعية إلى صيغة التعديل الرقمية BPSK أو صيغة رقمية أخرى، ويعدل كل مجال جزئي بحامل ترددي جزئي باستخدام Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)، و من ثم تضاف البادئة الدورية (CP) Cyclic Prefix بأخذ نسخة من الجزء الأخير من رمز OFDM ووضعها في مقدمة الرمز. أما في طرف الاستقبال فتحدث عملية معاكسة لما حدث عند المرسل، إذ تحذف البادئة الدورية أولاً ثم تتم عملية FFT، ثم التسوية و فك التعديل و أخيراً عملية التحويل من تفرعي إلى تسلسلي، كما يبين الشكل (2) مخططاً صندوقياً لنظام OFDM [14].



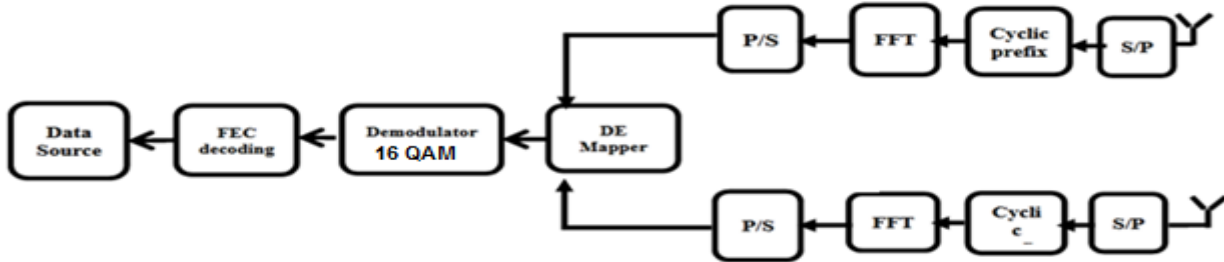
الشكل (2) مخطط نظام OFDM [13].

3-4- أنظمة MIMO-OFDM:

تم استخدام نظام OFDM مع عدة هوائيات في كل من المرسل والمستقبل من أجل تحسين أداء النظام في قنوات الخفوت المتعددة وزيادة معدل نقل البيانات ويطلق على هذه الهوائيات MIMO-OFDM، يتم دمج نظام OFDM مع نظام MIMO عبر إرسال إشارة OFDM عند كل هوائي إرسال. يبين الشكل (3) والشكل (4) مخطط نظام MIMO-OFDM في حالتي الإرسال والاستقبال [15].



الشكل (3) مخطط نظام لمرسل نظام MIMO-OFDM [15].



الشكل (4) مخطط نظام لمستقبل نظام MIMO-OFDM [15].

4-4- سعة نظام MIMO-OFDM:

بما أن سعة القناة تعبر عن أعلى حد لكمية المعلومات التي يمكن إرسالها بموثوقية عبر قناة الاتصال فإنها أيضاً تعبر عن حد معدل نقل البيانات بقناة محددة مع احتمال خطأ صغير نسبياً وهي تقيس توفر القناة وجودتها وكلما زادت زاد معها كمية المعلومات المتبادلة بشكل موثوق [16].

تعطى علاقة السعة لنظام MIMO-OFDM كما في العلاقة (3) [16]:

$$C = \frac{1}{n_f} \sum_{i=1}^{n_f} \sum_{j=1}^{n_t} \log_2 \left(1 + \frac{\sigma h_{j,k}(f_k)}{n_t} \right) \quad (3)$$

حيث: C السعة ووحدتها bit/Sec/Hz
 n_f : عدد الحوامل الفرعية في نظام OFDM
 n_t : عدد الهوائيات المرسلة
 σ : متوسط نسبة الضجيج SNR
 $h_{j,k}$: معامل مصفوفة القناة H من أجل هوائي الإرسال n_t وتردد الحامل الفرعي n_f
 f_k : القيمة العددية لتردد الحامل الفرعي

5-4- خوارزمية (Recursive Least Squares) RLS:

خوارزمية المربعات الصغرى التكرارية (Recursive Least Squares) RLS هي خوارزمية لتحديد أوزان المرشح المُتكيف. تستعمل خوارزمية RLS معلومات من عينات الدخل السابقة (ليس فقط من عينات الدخل الحالية) لتقدير (معكوس) مصفوفة الارتباط الذاتي لشعاع الدخل (autocorrelation array). يُستعمل معامل وزن (ρ) لأثر كل عينة لتخفيض اثر عينات الدخل من الماضي البعيد. يُدخل معامل الوزن في تابع الكلفة [17] J[n]

$$J[n] = \sum_{i=1}^n \rho^{n-i} |e[i, n]|^2 \quad (4)$$

تُحسب إشارة الخطأ $e[i, n]$ لجميع $1 \leq i \leq n$ (i تمثل رقم العينة) التي تستعمل الأوزان الحالية للمرشح $w[n]$ وفق العلاقة:

$$e[i, n] = d[i] - w^H[n]x[i] \quad (5)$$

يتم تقدير الخطأ وفق العلاقة (6) وتحديث شعاع الأوزان وفق العلاقة (7)

$$\hat{e}_{n-1}(n) = d(n) - \hat{y}_{n-1}(n) \quad (6)$$

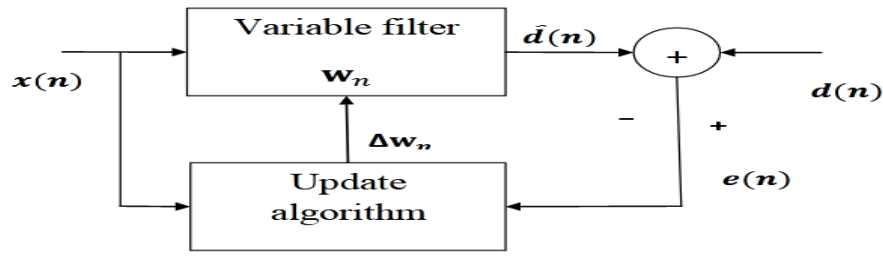
$$\hat{w}(n) = \hat{w}(n-1) + k(n)\hat{e}_{n-1}(n) \quad (7)$$

حيث $k(n)$ يعبر عن شعاع الريح ويعطى بالعلاقة:

$$k(n) = \frac{1}{\lambda + x^T u(n)} u(n) \quad (8)$$

حيث أن $u(n)$ يعبر عن شعاع الواحدة

عندما $\rho = 1$ ، يكون الخطأ المربع لجميع المرات (لحظات أخذ العينات) من i حتى اللحظة الحالية في تابع الكلفة J بشكل متساوي. إذا كان $0 < \rho < 1$ فإن أثر قيم خطأ الماضي يتناقص بشكل أسي، يوضح الشكل الآتي آلية عمل خوارزمية RLS [18].



الشكل (5) مخطط خوارزمية RLS [18].

تم تقييم معدل خطأ البت في أنظمة ال MIMO-OFDM مع افتراض وجود خفوت رايلي والضجيج الأبيض في القناة واستخدام تعديل 16 QAM حيث يعطى معدل خطأ البت وفق العلاقة الآتية:

$$BER = code\ rate * \log_2 M * (nsym - train\ length) \quad (9)$$

حيث أن code rate يمثل معدل الترميز و M تمثل رقم تعديل QAM و nsym تمثل عدد الرموز المرسلة و train length تمثل عدد البتات المقاسة في خوارزمية RLS.

5. النتائج والمناقشة

تم بداية تأثير تطبيق خوارزمية RLS على نظام MIMO-OFDM ومن أجل أعداد مختلفة من الهوائيات كما تم توضيح مقدار التحسين في كل حالة، حيث تم تنفيذ العمل باستخدام البيئة البرمجية MATLAB(R2019a) مع بارامترات المحاكاة الموضحة في الجدول (1) كما يلي :

الجدول (1) بارامترات المحاكاة

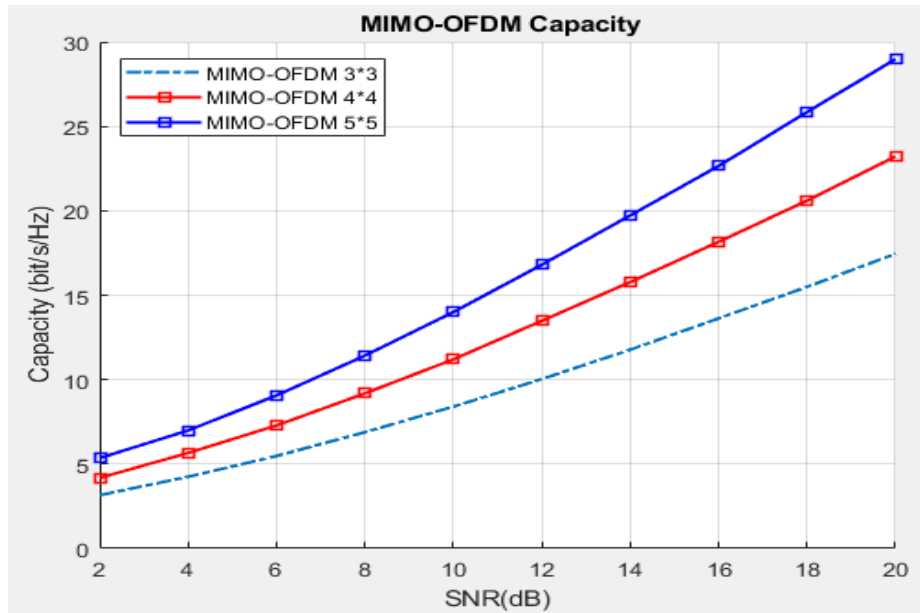
نوع القناة	قناة ذو ضجيج أبيض غوسي (AWGN)
مجال SNR	0 dB to 30 dB
عدد عمليات القياس	500
الافتتران المتبادل بين الهوائيات	مهمل
نوع الهوائيات	خطية منتظمة
نوع الإشارة	إشارات ضيقة الحزمة وغير مترابطة

1-5 دراسة تأثير زيادة عدد الهوائيات على السعة في نظام MIMO-OFDM:

تم إجراء محاكاة باستخدام المعادلة (3) من أجل تقييم السعة في أنظمة ال MIMO-OFDM وتم دراسة تأثير زيادة عدد الهوائيات على السعة، وتم استنتاج الشكل (6) وتنظيم الجدول (2).

الجدول (2) قيم السعة في أنظمة MIMO-OFDM من أجل أعداد مختلفة من الهوائيات وقيم SNR مختلفة

SNR (dB)	MIMO-OFDM 3*3	MIMO-OFDM 4*4	MIMO-OFDM 5*5
6	5.43	7.21	9.13
10	8.35	11.22	13.96
16	13.61	18.10	22.75



الشكل (6) تأثير زيادة عدد الهوائيات على السعة في نظام MIMO - OFDM

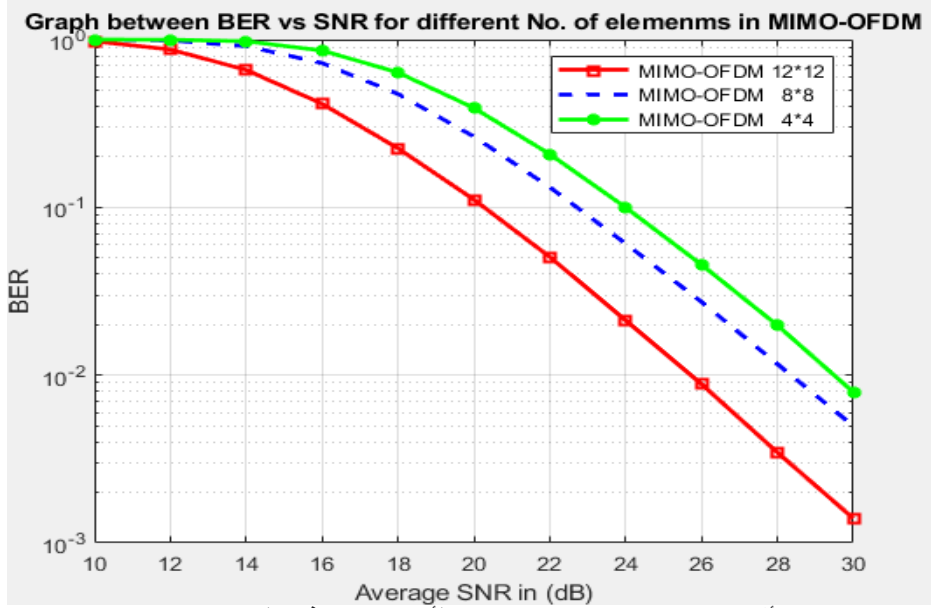
نلاحظ من الشكل (6) والجدول (2) أنه مع زيادة عدد الهوائيات تزداد السعة كما أنه مع زيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج تزداد السعة بشكل كبير .

2-5 دراسة تأثير زيادة عدد الهوائيات على معدل خطأ البت BER في نظام MIMO:

تم دراسة تأثير زيادة عدد الهوائيات على معدل خطأ البت BER في أنظمة MIMO من دون استخدام خوارزمية RLS وتم استنتاج الشكل (7) وتنظيم الجدول (3).

الجدول (3) قيم BER في أنظمة MIMO-OFDM من دون خوارزمية RLS ومن أجل أعداد مختلفة من الهوائيات وقيم SNR مختلفة

SNR (dB)	MIMO-OFDM 12*12	MIMO-OFDM 8*8	MIMO 4*4
18	0.22	0.46	0.63
22	0.049	0.13	0.20
30	0.001	0.004	0.007



الشكل (7) تأثير زيادة عدد الهوائيات على معدل خطأ البت BER في نظام MIMO - OFDM

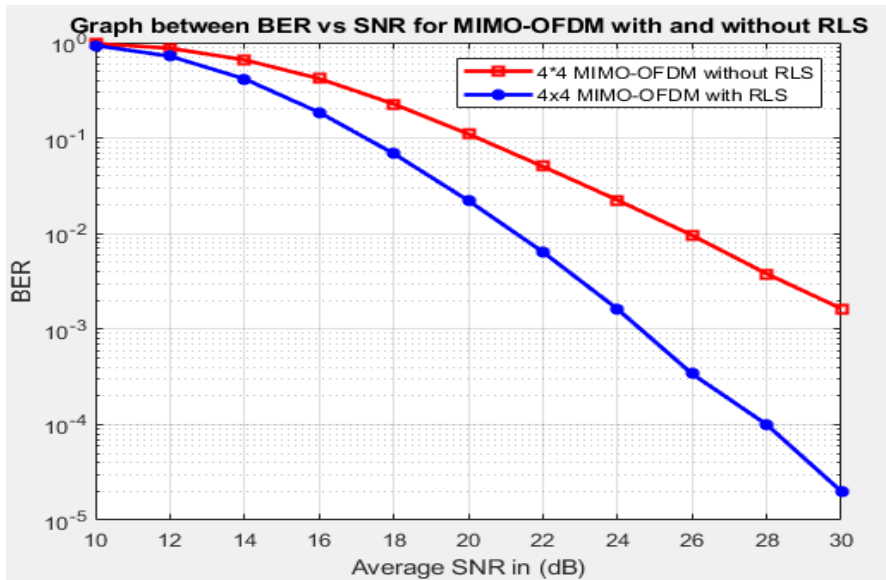
نلاحظ من الشكل (7) والجدول (3) أنه مع زيادة قيم SNR يقل معدل خطأ البت BER ومع زيادة عدد الهوائيات يزداد أداء النظام ويتحسن BER .

3-5 مقارنة معدل خطأ البت BER مع نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR عند استخدام خوارزمية RLS في

أنظمة MIMO-OFDM:

تم دراسة تطبيق خوارزمية RLS في نظام MIMO-OFDM(4*4) وتمت مقارنة معدل خطأ البت BER قبل

وبعد تطبيق هذه الخوارزمية، وتم استنتاج الشكل (8).



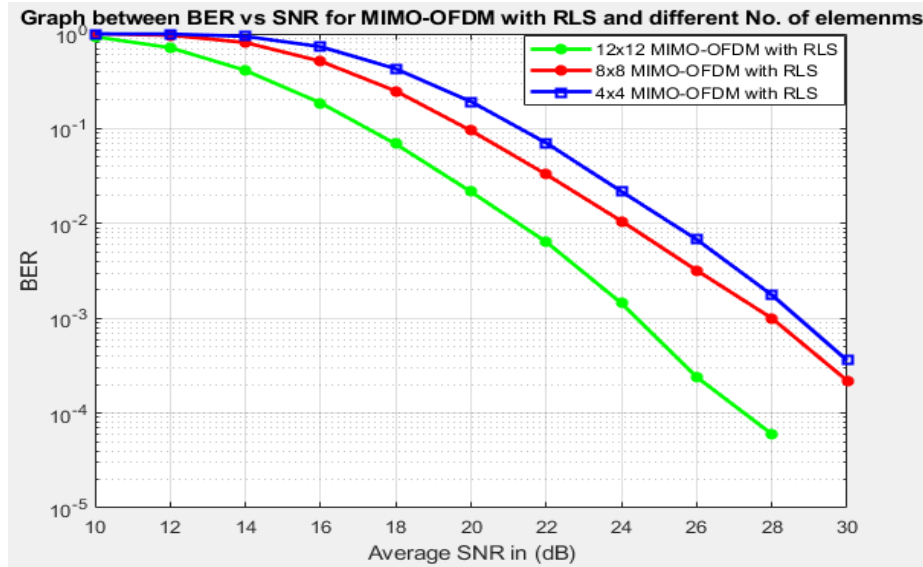
الشكل (8) مقارنة معدل خطأ البت BER مع نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR عند استخدام خوارزمية RLS في أنظمة MIMO-OFDM

نلاحظ من الشكل (8) أنه عند تطبيق خوارزمية RLS سوف يتحسن الأداء وينخفض معدل BER بشكل كبير

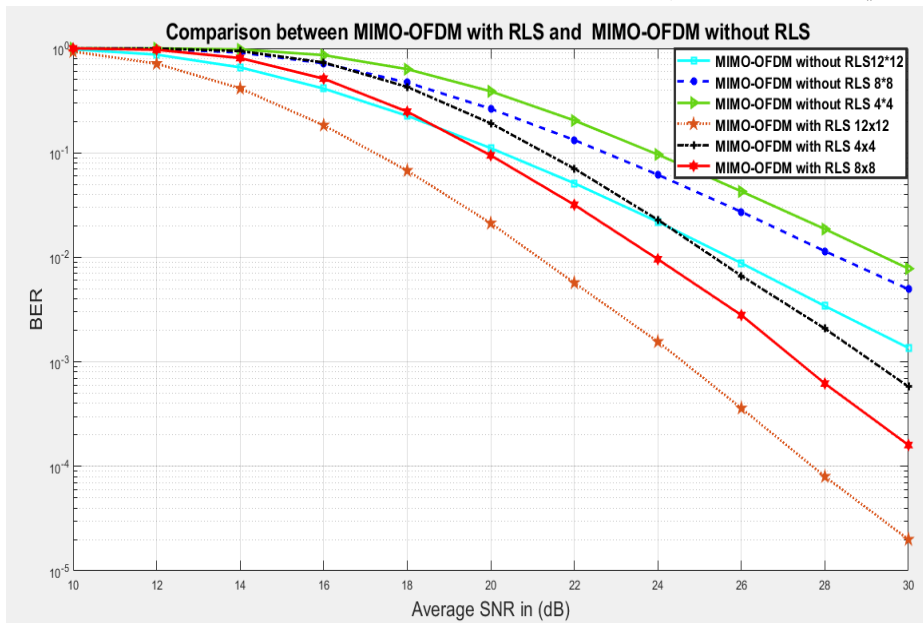
وبالتالي يصبح نظام MIMO-OFDM ذو فعالية أكبر

4-5 مقارنة معدل خطأ البت BER مع نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR عند استخدام خوارزمية RLS ومن أجل أعداد مختلفة من الهوائيات:

تم في هذا السيناريو دراسة معدل خطأ البت BER مع نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR عند استخدام خوارزمية RLS ومن أجل أعداد مختلفة من الهوائيات، وتم استنتاج الشكل (9) وتنظيم الجداول (4) و (5) و (6).



الشكل (9) مقارنة معدل خطأ البت BER مع نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR عند استخدام خوارزمية RLS نلاحظ من الشكل (9) أنه مع زيادة قيم SNR يقل معدل خطأ البت BER ومع زيادة عدد الهوائيات يقل BER، وبالتالي يتحسن أداء النظام.



الشكل (10) مقارنة معدل خطأ البت BER مع نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR قبل وبعد استخدام خوارزمية RLS نلاحظ من الشكل (10) تحسن واضح في أداء النظام عند استخدام خوارزمية RLS حيث تم تخفيض معدل خطأ البت بشكل كبير ونلاحظ أنه مع زيادة عدد الهوائيات يصبح التحسن أكبر.

الجدول (4) مقارنة قيم BER في أنظمة MIMO-OFDM 4*4 مع و من دون خوارزمية RLS من أجل قيم SNR مختلفة

SNR (dB)	MIMO-OFDM 4*4 without RLS	MIMO-OFDM 4*4 with RLS	مقدار التحسين
18	0.63	0.42	0.21
22	0.20	0.069	0.131
30	0.007	0.0005	0.0065

الجدول (5) مقارنة قيم BER في أنظمة MIMO-OFDM 8*8 مع و من دون خوارزمية RLS من أجل قيم SNR مختلفة

SNR (dB)	MIMO-OFDM 8*8 without RLS	MIMO-OFDM 8*8 with RLS	مقدار التحسين
18	0.46	0.24	0.22
22	0.13	0.03	0.1
30	0.004	0.0002	0.0038

الجدول (6) مقارنة قيم BER في أنظمة MIMO-OFDM 12*12 مع و من دون خوارزمية RLS من أجل قيم SNR مختلفة

SNR (dB)	MIMO-OFDM 12*12 without RLS	MIMO-OFDM 12*12 with RLS	مقدار التحسين
18	0.22	0.06	0.16
22	0.049	0.006	0.043
30	0.001	0.00005	0.00095

6. الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث دراسة تحليلية لأنظمة MIMO-OFDM وتم مناقشة تغير عدد الهوائيات على أداء النظام وتم إثبات فعالية خوارزمية RLS في تحسين الأداء وتقليل معدل خطأ البت BER. في البداية تم تقييم السعة في أنظمة MIMO-OFDM ودراسة تأثير تغير عدد الهوائيات على السعة وتبين أنه مع زيادة عدد الهوائيات تزداد السعة كما أنه مع زيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR تزداد السعة بشكل كبير، وتم بعد ذلك دراسة تأثير زيادة عدد الهوائيات على معدل خطأ البت BER في أنظمة MIMO-OFDM من دون استخدام خوارزمية RLS وتم الاستنتاج أنه مع زيادة قيم SNR يقل معدل خطأ البت BER ومع زيادة عدد الهوائيات يزداد أداء النظام ويقل BER.

تم أيضاً تم دراسة تطبيق خوارزمية RLS في نظام MIMO-OFDM (4*4) وتمت مقارنة معدل خطأ البت BER قبل وبعد تطبيق هذه الخوارزمية، وتبين أنه عند تطبيق خوارزمية RLS سيجتسن الأداء وينخفض معدل BER بشكل كبير وبالتالي يصبح نظام MIMO-OFDM ذو فعالية أكبر، وتم بعد ذلك دراسة معدل خطأ البت BER مع نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR عند استخدام خوارزمية RLS ومن أجل أعداد مختلفة من الهوائيات، وتم الاستنتاج أنه مع زيادة عدد الهوائيات يقل معدل خطأ البت BER وبالتالي يتحسن أداء النظام وفي النهاية تمت المقارنة بين نظام MIMO-OFDM قبل وبعد تطبيق هذه الخوارزمية ومن أجل أعداد مختلفة من الهوائيات وتم إيجاد مقدار التحسين في BER في كل حالة.

ومن التوصيات المستقبلية:

يمكن في الأبحاث القادمة تطبيق خوارزميات أخرى مثل LMS و NLMS ومقارنتها مع خوارزمية RLS، كما يمكن دراسة أنواع أخرى من الهوائيات مثل الهوائيات المستوية، كما يمكن في الأبحاث القادمة دراسة عملية الاقتران المتبادل بين الهوائيات وطرق تجنب هذه المشاكل.

المراجع

- [1] Anibal Luis Intini ,2000-Orthogonal Frequency Division Multiplexing For Wireless Network Standard IEEE 802.11a,University of California.
- [2] A Molisch ,Wireless Communications. Wiley-IEEE Press,2005.
- [3] T.Kaiser ,’’Smart antenna-State of art’’, Hindawi Publishing Corp-2005.
نصر، محمد، عبد الله، محمد. تأثير تغيير بارامترات هوائيات المصفوفة الخطية على عرض حزمة الإشعاع عند [4] مستوى نصف الاستطاعة، مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية. سوريا ، المجلد5، العدد 2، 2021
- [5] Umaria, K. & Joshi,K. (2012). Comparative Analysis Of BER Performance Of DWT Based OFDM System With Conventional FFT Based OFDM System. IEEE
- [6] Dahiya, P. & Sharma,K. (2013). Turbo coded MIMO-OFDM systems. IJEIT, volume 3, Issue 3. 312-316.
- [7] Manik, G. Kalra, A. & Kalra.S. (2012). Performance Analysis of STBC- OFDM System Under Multipath Fading Channel. IJSCE, volume 1, Issue 6. 87 90.
- [8] Vipin Kumar,Parveen Dhyani, Performance Analysis of MIMO-OFDM System Using BPSK Modulation Scheme, International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development Issue 5, Vol.4 (June -2015).
- [9] Nimay Chandra Giri, Shanaz Aman, Debaraj Rana, Nanda Ray , M. Mohanty, PERFORMANCE ANALYSIS OF MIMO SYSTEM FOR WIRELESS COMMUNICATION, Department of ECE,SOET, CUTM, Odisha,2016.
- [10] Ben Zarlingo, MIMO RF Measurements :Choosing and Using Tools, agilest technology January 22, 2009.
- [11] GORDON L. S; JOHN R. B. Broadband MIMO-OFDM Wireless Communications, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 92, NO.2, FEBRUARY 2004.
- [12] JIANXUAN, D; Geoffrey, L. Channel Estimation for D-BLAST OFDM Systems, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332-0250 ,2011.
- [13] ZHONGWEI, T; SUZUKI, H; Collings, B . Performance of Antenna Selection for MIMO-OFDM Systems Based on Measured Indoor Correlated Frequency Selective Channels,Sydney, Australia, 2007.
- [14] MADHAE, H. B; Pradeep, B. M. Performance Evaluation of Space Time Block Coded Spatial Modulation, Vertical-BLAST and Diagonal-BLAST Space Time Block Code , (IJCNC), ISSN: 2250-3501 Vol.2, No4, August 2012.
- [15] Xuehua, J. & Peijiang,C. (2009), Research and Simulation of MIMO-OFDM Wireless Communication System. IEEE.
- [16] J. Zyren. “Overview of the 3GPP long term evolution physical layer” freescale.com, July, 2007
- [17] Proakis, J. G. and Salehi, M. (2008). "Digital Communications," McGraw-Hill, Internathional Edition, Fifth Edithion.
- [18] L. Surendra, Syed. Shameem, Dr. Habibullah Khan.” Performance Comparison of LMS, SMI and RLS Adaptive Beamforming Algorithms for Smart Antennas." International Journal of Computer Science And Technology, vol.3,pp. 2-5, Jun.2012.